



TUGAS AKHIR - TK145501

# **PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN PROSES TRANSESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS KOH**

ERNI DWI CAHYATI  
NRP. 2314 030 020

LESTARI PUJANINGTYAS  
NRP. 2314 030 053

Dosen Pembimbing  
Ir. Sri Murwanti, MT.

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA  
Departemen Teknik Kimia Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



**TUGAS AKHIR TK 145501**

# **PEMBUATAN BODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN PROSES TRANSESTERIFIKASI MENGUNAKAN KATALIS KOH**

**ERNI DWI CAHYATI**  
**NRP. 2314 030 020**

**LESTARI PUJANINGTYAS**  
**NRP. 2314 030 053**

**Dosen Pembimbing**  
**Ir. Sri Murwanti, MT.**  
**NIP. 19530226 198502 2 001**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA**  
**Departemen Teknik Kimia Industri**  
**Fakultas Vokasi**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2017**



**FINAL PROJECT TK 145501**

# **BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL WITH TRANSESTERIFICATION PROCESS USING KOH CATALYST**

**ERNI DWI CAHYATI**  
**NRP. 2314 030 020**

**LESTARI PUJANINGTYAS**  
**NRP. 2314 030 053**

**Supervisor**  
**Ir. Sri Murwanti, MT.**  
**NIP. 19530226 198502 2 001**

**STUDY PROGRAM OF DIII CHEMICAL ENGINEERING**  
**Industrial Chemical Engineering Department**  
**Faculty Of Vocation**  
**Institute Technology Of Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL : PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN PROSES TRANSESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS KOH

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada  
Departemen Teknik Kimia Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

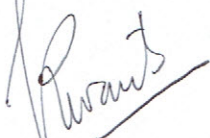
Oleh

Erni Dwi Cahyati  
Lestari Pujaningtyas

(NRP 2314 030 020)  
(NRP 2314 030 053)

disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



Ir. Sri Murwanti, MT.  
NIP. 19530226 198502 2 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Kimia Industri  
FV-ITS



Ir. Agung Subvaktio, M.S.  
NIP. 19580312 198601 1 001

SURABAYA, 21 Juli 2017

## LEMBAR REVISI

Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir  
pada tanggal 10 Juli 2017 untuk tugas akhir dengan judul  
**“Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan  
Proses Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH”,** yang  
disusun oleh :

**Erni Dwi Cahyati**  
**Lestari Pujaningtyas**

**(NRP 2314 030 020)**  
**(NRP 2314 030 053)**

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :



1. Warlinda Eka Triastuti, S.Si, MT.

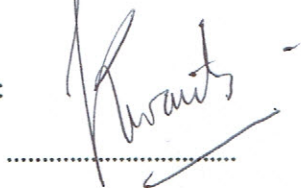
.....

2. Ir. Agus Surono, MT



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Sri Murwanti, MT.



SURABAYA, 21 JULI 2017

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN PROSES TRANSESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS KOH”** dengan tepat waktu. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapat saran, dorongan, bimbingan serta keterangan-keterangan dari berbagai pihak yang merupakan pengalaman yang tidak dapat diukur secara materi namun dapat membukakan mata penulis bahwa sesungguhnya pengalaman dan pengetahuan tersebut adalah guru yang terbaik bagi penulis, sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT karena atas rahmat dan kehendak-Nya kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Yang tercinta, Bapak dan Ibu, serta keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi secara moril dan materil serta do'a.
3. Bapak Ir. Agung Subyakto, M.S., selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Industri.
4. Ibu Ir. Sri Murwanti, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing kami dalam pembuatan laporan tugas akhir.
5. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.Si, M.T. selaku Koordinator tugas akhir.

6. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.Si, M.T dan Bapak Ir. Agus Surono, MT. selaku dosen penguji sidang tugas akhir.
7. Teman-teman satu angkatan kami “NITRO 14” yang telah berjuang, berkarya, dan bekerjasama selama tiga tahun ini.
8. Adik tingkat dan senior-senior kami yang sangat bijaksana dalam memberi saran serta dukungan kepada kami.
9. Serta semua pihak yang telah membantu penyusun hingga terselesainya laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan yang dibuat baik sengaja maupun tidak sengaja, dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan dan wawasan serta pengalaman yang penulis miliki. Untuk itu penulis memohon maaf atas segala kekurangan tersebut, serta penulis mengharapkan saran dan kritik untuk perbaikan di masa mendatang. Akhir kata semoga dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, pembaca dan masyarakat luas. Amin.

Surabaya, 20 Juni 2017

Penulis

# **PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN PROSES TRANSESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS KOH**

Nama Mahasiswa : 1. Erni Dwi Cahyati 2314 030 020  
2. Lestari Pujaningtyas 2314 030 053  
Program Studi : Departemen Teknik Kimia Industri  
Vokasi-ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Sri Murwanti, MT.

## **ABSTRAK**

*Salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan BBM di Indonesia adalah dengan pengembangan bahan bakar alternatif ramah lingkungan seperti biodiesel. Pemanfaatan biodiesel sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui dapat merupakan salah satu pilihan untuk membantu mengatasi besarnya tekanan kebutuhan BBM terutama diesel atau minyak solar di Indonesia. Pada penelitian ini digunakan minyak goreng bekas (Waste Cooking Oil) sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Minyak goreng bekas atau minyak jelantah, sangat potensial untuk diolah menjadi biodiesel karena minyak ini mengandung trigliserida, di samping asam lemak bebas yang apabila direaksikan dengan methanol menghasilkan biodiesel.*

*Tahap pelaksanaan penelitian ini adalah dimulai dengan tahap persiapan bahan baku berupa persiapan Minyak Goreng bekas, melakukan penyaringan minyak goreng bekas menggunakan kertas saring, dan pengujian kadar FFA. Tahap kedua yaitu tahap proses pembuatan produk dimulai dari tahap transesterifikasi pada tahap ini minyak goreng bekas yang telah dihitung kadar FFA dan kurang dari 5% direaksikan dengan larutan kalium methoksida dengan perbandingan reaksi 4:1, kemudian ditambahkan katalis KOH 0,5% dan dilakukan pengadukan dengan kecepatan 600 rpm selama 1 jam dengan suhu 60 °C, tahap selanjutnya yaitu tahap pencucian, dan tahap yang terakhir yaitu tahap analisa. Pada tahap analisa*



*ini analisa yang dilakukan adalah uji densitas, uji viskositas, uji cloud point, uji angka asam, dan uji flash point. Mengulang proses tahapan diatas dengan menggunakan variabel yang lain hingga menghasilkan produk biodiesel.*

*Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, didapatkan biodiesel dengan kualitas yang paling baik dengan penambahan katalis KOH 1% dan kecepatan putar 1000 rpm. Didapatkan hasil analisa yaitu densitas sebesar  $890 \text{ kg/m}^3$ ; viskositas  $2,80 \text{ mm}^2/\text{s}$ ; flash point  $148^\circ\text{C}$ , cloud point  $13^\circ\text{C}$ , angka asam  $0,561 \text{ mg KOH/g}$ ; dan angka setan  $46,92$ .*

***Kata kunci: Minyak Goreng bekas, Biodiesel, KOH***

# **BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL WITH TRANSESTERIFICATION PROCESS USING KOH CATALYST**

Name : 1. Erni Dwi Cahyati 2314 030 020  
2. Lestari Pujaningtyas 2314 030 053  
Study Program : Department of Chemical Engineering  
Industry ITS  
Supervisor : Ir. Sri Murwanti, MT.

## **ABSTRACT**

*One way to reduce fuel dependency in Indonesia is by developing environmentally friendly alternative fuels such as biodiesel. Utilization of biodiesel as a renewable energy source can be an option to help overcome the pressures of fuel demand, especially diesel or diesel oil in Indonesia. In this research, we used Waste Vegetable Oil (WVO) as raw material of biodiesel making. Used cooking oil (waste vegetable oil), is very potential to be processed into biodiesel because waste vegetable oil contains triglycerides besides free fatty acid when reacted with methanol produce biodiesel.*

*The implementation phase of this research is to start with the preparation stage of raw materials in the form of preparation of WVO, to filter the cooking oil using filter paper, and to test the FFA level. The second stage is the stage of product preparation process starting from the transesterification stage at this stage of cooking oil that has been calculated FFA levels and less than 5% is reacted with potassium methoxide solution with a reaction ratio of 4: 1, then added a 0,5% catalyst of KOH and stirring with Speed 600 rpm for 1 hour with temperature 60 °C, the next stage is the washing stage, and the last stage is the analysis phase. At this stage of analysis, the analyzes are density test, viscosity test, cloud point test, acid number test, and flash point test. Repeats the above stages by using another variable to produce biodiesel products.*

*From the results of experiments that have been done, the best biodiesel quality on the addition of 1% KOH catalyst and rotation speed 100 rpm. The result of the analysis is from density test  $890 \text{ kg/m}^3$ ; Viscosity  $2,80 \text{ mm}^2/\text{s}$ ; Flash point  $148^\circ\text{C}$ , Cloud point  $13^\circ\text{C}$ , acid number  $0,561 \text{ mg KOH/g}$ ; and cetane number 46,92*

***Keyword: Waste Vegetable Oil(WVO), Biodiesel, KOH***

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Perumusan Masalah.....	I-3
1.3 Batasan Masalah.....	I-3
1.4 Tujuan Inovasi Produk .....	I-4
1.5 Manfaat Inovasi Produk .....	I-4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Minyak Jelantah .....	II-1
2.2 Biodiesel.....	II-3
2.3 Transesterifikasi .....	II-5
2.4 Katalis.....	II-7
2.5 KOH .....	II-9
2.6 Methanol.....	II-10
2.7 Gliserol.....	II-11
<b>BAB III METODOLOGI PEMBUATAN PRODUK</b>	
3.1 Bahan yang Digunakan .....	III-1
3.2 Peralatan yang Digunakan.....	III-1
3.3 Variabel yang Digunakan.....	III-1
3.4 Prosedur Pembuatan .....	III-2
3.5 Diagram Alir Proses Pembuatan .....	III-7
3.6 Rangkaian Proses Percobaan.....	III-8
3.7 Gambar Alat .....	III-12
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian.....	IV-1
4.2 Pembahasan Hasil Analisa Biodiesel .....	IV-1
<b>BAB V NERACA MASSA</b>	

5.1 Neraca Massa .....	V-1
<b>BAB VI NERACA PANAS</b>	
6.1 Neraca Panas .....	VI-1
<b>BAB VII ANALISA KEUANGAN</b>	
7.1 Investasi Alat ( <i>Fixed Cost</i> ).....	VII-1
7.2 <i>Variabel Cost</i> .....	VII-2
7.3 Analisa Biaya .....	VII-2
<b>BAB VIII KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
8.1 Kesimpulan.....	VIII-1
8.2 Saran .....	VIII-1
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	xiv
<b>LAMPIRAN</b>	
1. APPENDIKS A	
2. APPENDIKS B	
3. APPENDIKS C	

## **DAFTAR GAMBAR**

<b>Gambar 2.1</b>	Kalium Hidroksida.....	II-10
<b>Gambar 3.7</b>	Gambar Alat.....	III-12

## DAFTAR GRAFIK

- Grafik 4.1** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap densitas biodiesel dari minyak jelantah.....IV-5
- Grafik 4.2** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap viscositas biodiesel dari minyak jelantah.....IV-6
- Grafik 4.3** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap *flash point* biodiesel dari minyak jelantah.....IV-8
- Grafik 4.4** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap *cloud point* biodiesel dari minyak jelantah.....IV-9
- Grafik 4.5** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap angka asam biodiesel dari minyak jelantah.....IV-10
- Grafik 4.6** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap rendemen biodiesel dari minyak jelantah.....IV-11

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Syarat Mutu Biodiesel menurut SNI 04-7182-2006 .....	II-4
<b>Tabel 2.2</b>	Sifat Kimia KOH .....	II-9
<b>Tabel 2.3</b>	Sifat Fisika-Kimia Methanol .....	II-10
<b>Tabel 2.4</b>	Sifat Fisika-Kimia Gliserol .....	II-11
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Analisa Sifat Fisika-Kimia Minyak Jelantah .....	IV-1
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Analisa Transesterifikasi pada Perbandingan volume Metanol:Minyak Jelantah 1:4 dengan Variabel Katalis KOH 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 600 RPM .....	IV-2
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Analisa Transesterifikasi pada Perbandingan volume Metanol:Minyak Jelantah 1:4 dengan Variabel Katalis KOH 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 800 RPM .....	IV-2
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Analisa Transesterifikasi pada Perbandingan volume Metanol:Minyak Jelantah 1:4 dengan Variabel Katalis KOH 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 1000 RPM .....	IV-3
<b>Tabel 5.1</b>	Neraca Massa Tangki Pencampuran .....	V-1
<b>Tabel 5.2</b>	Komposisi Minyak Jelantah .....	V-2
<b>Tabel 5.3</b>	Komponen Minyak Jelantah .....	V-2
<b>Tabel 5.4</b>	Neraca Massa Reaktor Transesterifikasi .....	V-3
<b>Tabel 5.5</b>	Neraca Massa Tangki Pencucian .....	V-4
<b>Tabel 5.6</b>	Neraca Massa Pemisahan .....	V-6
<b>Tabel 6.1</b>	Komposisi Minyak Jelantah .....	VI-1
<b>Tabel 6.2</b>	Komponen Trigliserida dalam Minyak Jelantah .....	VI-1
<b>Tabel 6.3</b>	Komponen FFA dalam Minyak Jelantah .....	VI-2
<b>Tabel 6.4</b>	Komponen Metil Ester dalam Biodiesel .....	VI-2



<b>Tabel 6.5</b>	Perhitungan Cp pada Trigliserida Minyak Jelantah .....	VI-3
<b>Tabel 6.6</b>	Perhitungan Cp pada FFA Minyak Jelantah .....	VI-4
<b>Tabel 6.7</b>	Heat Capacity (Cp) pada Komponen lain .....	VI-4
<b>Tabel 6.8</b>	Perhitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 1) .....	VI-5
<b>Tabel 6.9</b>	Perhitungan Entalpi Bahan keluar (Aliran 2) .....	VI-5
<b>Tabel 6.10</b>	Neraca Panas Pre-Treatment Minyak Jelanta .....	VI-6
<b>Tabel 6.11</b>	Perhitungan Entalpi Bahan Masuk .....	VI-7
<b>Tabel 6.12</b>	Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 2) .....	VI-7
<b>Tabel 6.13</b>	Neraca Panas Pembuatan Kalium Methoksida .....	VI-9
<b>Tabel 6.14</b>	Pehitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 2) .....	VI-10
<b>Tabel 6.15</b>	Perhitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 5) .....	VI-10
<b>Tabel 6.16</b>	Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 6) .....	VI-11
<b>Tabel 6.17</b>	Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 7) .....	VI-17
<b>Tabel 6.18</b>	Neraca Panas pada Proses Transesterifikasi .....	VI-18
<b>Tabel 6.19</b>	Perhitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 8) .....	VI-19
<b>Tabel 6.20</b>	Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 9) .....	VI-19
<b>Tabel 6.21</b>	Neraca Panas pada Pemanasan Air Pencucian .....	VI-19
<b>Tabel 7.1</b>	Biaya <i>Fixed Cost</i> Selama 1 Tahun .....	VII-1
<b>Tabel 7.2</b>	<i>Variabel Cost</i> Bahan Baku .....	VII-2
<b>Tabel 7.3</b>	Perhitungan Total Biaya .....	VII-4

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Di Indonesia, energi migas masih menjadi andalan utama perekonomian Indonesia, baik sebagai penghasil devisa maupun pemasok kebutuhan energi dalam negeri. Pembangunan prasarana dan industri yang sedang giat-giatnya dilakukan di Indonesia, membuat pertumbuhan konsumsi energi rata-rata mencapai 7% dalam 10 tahun terakhir. Peningkatan yang sangat tinggi, melebihi rata-rata kebutuhan energi global, mengharuskan Indonesia untuk segera menemukan cadangan migas baru, baik di Indonesia maupun ekspansi ke luar negeri. Perkembangan produksi minyak Indonesia dari tahun ke tahun mengalami penurunan, sehingga perlu upaya luar biasa untuk menemukan cadangan-cadangan baru dan peningkatan produksi (*LMFUI, 2016*).

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak pulau dan penduduk yang banyak. Luas dan tersebar nya wilayah Indonesia membuat antara satu wilayah dengan yang lain tidak dapat terjangkau dengan mudah. Ditambah dengan peningkatan jumlah penduduk, kegiatan perekonomian menjadi lebih meningkat. Meningkatnya kegiatan di bidang perekonomian tersebut menyebabkan semakin tingginya kebutuhan akan penggunaan energi, yang tidak lain energi itu berasal dari sumber bahan bakar minyak. Secara langsung, hal ini memberikan pengaruh pada terjadinya peningkatan dalam konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM), bahkan konsumsi penggunaan BBM dinilai telah melampaui quota yang ditetapkan di dalam APBN (*Perdana, 2014*).

Salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan BBM di Indonesia adalah dengan pengembangan bahan bakar alternatif ramah lingkungan seperti biodiesel. Pemanfaatan biodiesel sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui dapat merupakan salah satu pilihan untuk membantu mengatasi besarnya tekanan kebutuhan BBM terutama diesel atau minyak solar di Indonesia (*Domahy, 2007*).



Biodiesel yang secara umum didefinisikan sebagai ester monoalkil dari tanaman dan lemak hewan merupakan bahan bakar alternatif yang sangat potensial digunakan sebagai pengganti solar karena kemiripan karakteristiknya. Selain itu biodiesel yang berasal dari minyak nabati merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable*), mudah diproses, harganya relatif stabil, tidak menghasilkan cemaran yang berbahaya bagi lingkungan (non toksik) serta mudah terurai secara alami (*Wijaya, 2011*).

Minyak goreng bekas (*waste cooking oil*) atau minyak jelantah, sangat potensial untuk diolah menjadi biodiesel. Pada saat ini, pemanfaatan minyak jelantah di Indonesia masih belum berkembang. Potensi minyak jelantah akan meningkat seiring dengan meningkatnya produksi dan konsumsi minyak goreng. Minyak jelantah merupakan limbah yang mengandung senyawa-senyawa karsinogenik yang terjadi selama proses penggorengan sehingga jika dipakai secara terus-menerus dapat menyebabkan kerusakan pada tubuh manusia. Salah satu bentuk pemanfaatan minyak jelantah yang dapat dilakukan yaitu dengan cara mengubahnya menjadi biodiesel. Hal ini dapat dilakukan karena minyak jelantah juga merupakan minyak nabati. Pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel memiliki beberapa kelebihan, diantaranya sumber minyak nabati mudah diperoleh, proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati mudah dan cepat, dan tingkat konversi minyak nabati menjadi biodiesel yang tinggi (95%) (*Sinaga, 2014*).

Minyak goreng bekas merupakan salah satu bahan baku yang memiliki peluang untuk pembuatan biodiesel, karena minyak ini masih mengandung trigliserida, di samping asam lemak bebas. Data statistik menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan produksi minyak goreng. Dari 2,49 juta ton pada tahun 1998, menjadi 4,53 juta ton tahun 2004 dan 5,06 juta ton pada tahun 2005 (*Darmawan, 2013*).

Potensi minyak jelantah yang dihasilkan oleh hotel, restaurant dan warung-warung di Denpasar sangat besar. Diperkirakan hampir 3.000 liter setiap hari, minyak jelantah dijual kembali kepada pengepul untuk dijadikan minyak goreng baru



dan dipasarkan kepada masyarakat. Berdasarkan pengalaman, minyak jelantah memang bisa diputihkan (*bleaching*) dengan zat kimia atau disaring kembali sehingga lebih bersih dan terlihat lebih jernih. Namun ini membahayakan kesehatan manusia karena adanya zat karsinogenik yang memicu terjadinya penyakit kanker pada manusia. Ada beberapa hotel dan restaurant di Denpasar yang mau menjual minyak jelantahnya dengan harga Rp.2.000/liter. Termasuk McDonald dan beberapa restaurant lainnya. Pengumpul liar berani membeli minyak jelantah hingga Rp.3.500,- per liternya (*kompasiana*, 2017).

## 1.2 Perumusan Masalah

Beberapa perumusan masalah yang akan coba diselesaikan dalam percobaan pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas dengan proses Trans-esterifikasi:

1. Bagaimana cara pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng bekas dengan proses Trans-esterifikasi?
2. Bagaimana kualitas Biodiesel yang dihasilkan dari Minyak Goreng bekas dengan proses Trans-esterifikasi dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia?
3. Bagaimana pengaruh katalis (0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%) pada proses transesterifikasi serta pengaruh kecepatan putaran (600, 800, dan 1.000 rpm) pada proses transesterifikasi pada pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng bekas ?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam percobaan ini, batasan masalah yang akan dipakai adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah Minyak Goreng Bekas atau bisa disebut dengan *Minyak Jelantah*.
2. Metode yang digunakan adalah proses trans-esterifikasi.
3. Suhu yang digunakan adalah 60°C, waktu 1 jam, perbandingan volume rasio antara Minyak Goreng bekas : metanol 4:1, konsentrasi katalis KOH 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% berat minyak goreng bekas untuk proses



transesterifikasi.

### 1.4 Tujuan Inovasi Produk

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui cara pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas dengan proses trans-esterifikasi
2. Mempelajari kualitas biodiesel dari *Minyak Goreng bekas* berdasarkan analisa serta membandingkan dengan SNI Biodiesel.
3. Mengetahui pengaruh katalis (0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%) pada proses transesterifikasi serta pengaruh kecepatan putaran (600, 800, dan 1.000 rpm) pada proses transesterifikasi pada pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng bekas.

### 1.5 Manfaat Inovasi

1. Sebagai referensi kondisi operasi yang optimal dalam pembuatan biodiesel seperti kecepatan putar serta pengaruh konsentrasi katalis dalam proses transesterifikasi untuk menghasilkan metil ester (biodiesel).
2. Sebagai bahan pertimbangan untuk penggunaan Minyak Goreng Bekas sebagai bahan baku Biodiesel.
3. Untuk meningkatkan nilai ekonomis dari Minyak Goreng Bekas.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Minyak Jelantah**

Minyak yang telah dipakai menggoreng biasa disebut minyak jelantah. Kebanyakan minyak jelantah sebenarnya merupakan minyak yang telah rusak. Minyak yang tinggi kandungan LTJ (Lemak Tak Jenuh)-nya memiliki nilai tambah hanya pada gorengan pertama saja, sementara yang tinggi ALJ (Asam Lemak Jenuh)-nya bisa lebih lama lagi, meski pada akhirnya akan rusak juga. Oleh proses penggorengan sebagian ikatan rangkap akan menjadi jenuh. Penggunaan yang lama dan berkali-kali dapat menyebabkan ikatan rangkap teroksidasi, membentuk gugus peroksida dan monomer siklik (*Ramdja, 2010*).

Minyak goreng bekas mengandung asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) yang dihasilkan dari reaksi oksidasi dan hidrolisis pada saat penggorengan. Adanya FFA dalam minyak goreng bekas dapat menyebabkan reaksi samping yaitu reaksi penyabunan, jika dalam proses pembuatan biodiesel langsung menggunakan reaksi transesterifikasi. Sabun yang dihasilkan dapat mengganggu reaksi dan proses pemurnian biodiesel. Reaksi transesterifikasi memerlukan minyak dengan kemurnian tinggi (kandungan FFA <2%). Jika FFA tinggi akan mengakibatkan reaksi transesterifikasi terganggu akibat terjadinya reaksi penyabunan antara katalis dengan FFA. Kadar asam lemak bebas minyak nabati harus kecil dari 1% (*Aziz, 2011*).

Kandungan asam lemak bebas (*free fatty acid*, FFA) di dalam minyak jelantah lebih tinggi dibandingkan dengan FFA di dalam minyak segar. Biasanya kandungan FFA lebih besar dari 1% berat. Kandungan FFA dalam minyak sangat berpengaruh terhadap proses reaksi transesterifikasi minyak apabila menggunakan katalis basa. Karena FFA dalam minyak dan alkohol dengan adanya basa akan membentuk sabun (padat) (*Mahreni, 2010*).

Campuran sabun, minyak dan alkohol ini membentuk emulsi yang dapat menghambat kecepatan reaksi



transesterifikasi dan menimbulkan masalah pada proses pemisahan biodiesel dan gliserol (hasil reaksi) (Mahreni, 2010).

Asam lemak bebas ini dihasilkan oleh hasil oksidasi dan hidrolisis minyak menjadi asam. Reaksi pembentukan asam semakin besar dengan pemanasan yang tinggi dan waktu yang lama selama penggorengan makanan. Asam lemak dapat menyumbat filter atau saringan dan menjadi korosi pada mesin diesel. Untuk menghilangkan FFA dari *Waste Cooking Oil*, FFA harus dirubah menjadi ester dengan cara mereaksikan FFA dengan metanol menggunakan katalis asam (bukan basa), karena katalis basa dengan FFA dan methanol akan membentuk sabun (Mahreni, 2010).

Minyak jelantah (*fried palm oil*) merupakan limbah dan bila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik, yang terjadi selama proses penggorengan. Jadi jelas bahwa pemakaian minyak jelantah yang berkelanjutan dapat merusak kesehatan manusia, menimbulkan penyakit kanker, dan akibat selanjutnya dapat mengurangi kecerdasan generasi berikutnya. Untuk itu perlu penanganan yang tepat agar limbah minyak jelantah ini dapat bermanfaat dan tidak menimbulkan kerugian dari aspek kesehatan manusia dan lingkungan (Hikmah, 2010).

Salah satu bentuk pemanfaatan minyak jelantah agar dapat bermanfaat dari berbagai macam aspek ialah dengan mengubahnya secara proses kimia menjadi biodiesel. Hal ini dapat dilakukan karena minyak jelantah juga merupakan minyak nabati, turunan dari CPO (*crude palm oil*). Adapun pembuatan biodiesel dari minyak jelantah ini menggunakan reaksi transesterifikasi seperti pembuatan biodiesel pada umumnya dengan *pretreatment* untuk menurunkan angka asam pada minyak jelantah (Akbar, 2008).

Minyak goreng sisa dapat digunakan sebagai bahan dasar biodiesel melalui reaksi esterifikasi. Minyak jelantah tergolong sebagai limbah organik yang banyak mengandung senyawa hidrokarbon, bila terdegradasi dilingkungan akan meningkatkan keasaman lingkungan, menimbulkan bau yang tidak sedap,



akibatnya hanya mikroorganisme yang merugikan bagi manusia (Suirta, 2009). Pemanfaatan minyak goreng bekas untuk pembuatan biodiesel akan memberikan beberapa keuntungan, diantaranya dapat mereduksi limbah rumah tangga atau industri makanan dan mereduksi biaya produksi biodiesel sehingga harganya lebih murah dibanding dengan menggunakan minyak nabati murni (Aziz, 2011).

## 2.2 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel yang diproduksi dari minyak tumbuhan atau lemak hewan. Penggunaan biodiesel dapat dicampur dengan petroleum diesel (solar). Biodiesel mudah digunakan, bersifat *biodegradable*, tidak beracun, dan bebas dari sulfur dan senyawa aromatik. Selain itu biodiesel mempunyai nilai *flash point* (titik nyala) yang lebih tinggi dari petroleum diesel sehingga lebih aman jika disimpan dan digunakan (Darmawan, 2013). Karena bahan bakunya yang berasal dari minyak nabati sehingga dapat diperbaharui, dapat dihasilkan secara periodik dan mudah diperoleh. Selain itu harganya relatif stabil dan produksinya mudah disesuaikan dengan kebutuhan. Biodiesel juga merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan, tidak mengandung belerang sehingga dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh hujan asam (*rain acid*) (Aziz, 2011). Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari sumber terbarukan (*renewable*), dengan komposisi ester asam lemak dari minyak nabati antara lain: minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak biji kapuk, dan masih ada lebih dari 30 macam tumbuhan Indonesia yang potensial untuk dijadikan biodiesel (Darmawan, 2013).

Biodiesel memiliki beberapa keunggulan diantaranya efisiensi pembakaran dan angka setana yang lebih tinggi daripada bahan bakar diesel turunan minyak bumi. Biodiesel memiliki kandungan senyawa sulfur dan aromatik yang lebih rendah daripada bahan bakar diesel sehingga emisi gas berbahaya hasil pembakarannya lebih rendah daripada emisi bahan bakar diesel





turunan minyak bumi. Selain itu biodiesel juga dapat terdegradasi secara alami. Lebih dari 90% biodiesel dapat terdegradasi secara biologis selama 21 hari (*Mudge, 1999*).

Biodiesel adalah monoalkil ester yang diperoleh dari reaksi esterifikasi dan/atau transesterifikasi asam-asam lemak rantai panjang dan alkohol dengan bantuan katalis asam dan/atau basa. Biodiesel bersifat ramah lingkungan karena memiliki emisi pembakaran yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel berbasis petroleum. Selain itu, bahan baku pembuatan biodiesel dapat diperoleh dari limbah, seperti minyak goreng bekas (*Sartika, 2015*).

Biodiesel tidak mengandung nitrogen atau senyawa aromatik dan hanya mengandung kurang dari 155 ppm (part per million) sulfur. Biodiesel mengandung 11% oksigen dalam persen berat yang keberadaannya mengakibatkan berkurangnya kandungan energi namun menurunkan kadar emisi gas buang yang berupa karbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), partikulat dan jelaga. Kandungan energi biodiesel 10% lebih rendah bila dibandingkan dengan solar, sedangkan efisiensi bahan bakar biodiesel lebih kurang dapat dikatakan sama dengan solar, yang berarti daya dan torsi yang dihasilkan proporsional dengan kandungan nilai kalor pembakarannya. Kandungan asam lemak dalam minyak nabati yang merupakan bahan baku dari biodiesel menyebabkan bahan bakar biodiesel sedikit kurang stabil dibandingkan dengan solar, kestabilan yang tidak stabil dapat meningkatkan kandungan asam lemak bebas, menaikkan viskositas, terbentuknya gums, dan terbentuknya sedimen yang dapat menyumbat saringan bahan bakar (*Hikmah, 2010*).

**Tabel 2.1** Syarat Mutu Biodiesel menurut SNI 04-7182-2006

No.	Parameter	Satuan	Batas Nilai
1.	Massa Jenis pada 40°C	Kg/m <sup>3</sup>	850-890
2.	Viskositas Kinematik pada 40°C	Mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,3-6,0
3.	Angka Setana	-	Min.51
4.	Titik Nyala	°C	Min.100



5.	Titik Kabut	°C	Maks.18
6.	Korosi bilah tembaga (3 jam, 50°C)	°C	Maks.no.3
7.	Residu Karbon	% berat	Maks. 0,05
	Dalam contoh asli	-	(Maks. 0,03)
	Dalam 10% ampas distilasi	-	
8.	Air dan sedimen	% vol	Maks. 0,05
9.	Temperatur distilasi 90%	°C	Maks.360
10.	Abu tersulfatkan	% berat	Maks. 0,02
11.	Belerang	Ppm-b (mg/kg)	Maks.100
12.	Fosfor	Ppm-b (mg/kg)	Maks.10
13.	Angka asam	Mg-KOH/g	Maks. 0,8
14.	Gliserol Bebas	% berat	Maks. 0,02
15.	Gliserol Total	% berat	Maks. 0,24
16.	Kadar ester alkil	% berat	Min. 96,5

### 2.3 Transesterifikasi

Proses produksi biodiesel umumnya melalui reaksi transesterifikasi senyawa trigliserida yang terkandung di dalam minyak atau lemak. Reaksi transesterifikasi bertujuan untuk menurunkan viskositas minyak atau lemak agar dapat memenuhi spesifikasi sebagai bahan bakar. Terdapat berbagai metode reaksi transesterifikasi melalui berbagai variasi bahan baku, jenis alkohol, katalis, temperatur reaksi, waktu reaksi, jenis reaktor dan proses pemisahan (*Speidel, 2000*).

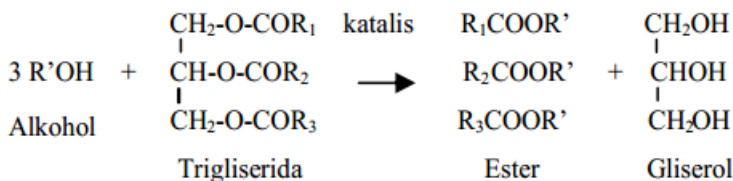
Biodiesel diperoleh dari reaksi minyak tanaman (trigliserida) dengan alkohol yang menggunakan katalis basa pada suhu dan komposisi tertentu, sehingga di hasilkan dua zat yang disebut alkil ester (umumnya metil ester atau sering disebut biodiesel) dan gliserol. Proses reaksi ini disebut transesterifikasi (*Fangrui, 1999*).

Transesterifikasi merupakan suatu proses penggantian alkohol dari suatu gugus ester (trigliserida) dengan ester lain atau mengubah asam-asam lemak ke dalam bentuk ester sehingga menghasilkan alkil ester. Proses tersebut dikenal sebagai proses alkoholisis. Proses alkoholisis ini merupakan reaksi biasanya berjalan lambat namun dapat dipercepat dengan bantuan



suatu katalis (Indah, 2011). Selain itu transesterifikasi didefinisikan sebagai reaksi pembentukan metil atau etil ester dengan mereaksikan komponen minyak yaitu trigliserida dengan alkohol (metanol atau etanol) dibantu dengan katalis basa atau asam. Hasil sampingan dari transesterifikasi adalah gliserin. Reaksi transesterifikasi tidak akan berjalan selama masih terkandung asam lemak bebas di atas 7%. Oleh karena itu, dalam pembuatan biodiesel harus melalui dua tahap reaksi. Tahap pertama untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dan tahap kedua untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil ester (biodiesel) (Ambarita, 2002).

Transesterifikasi adalah suatu reaksi yang menghasilkan ester dimana salah satu pereaksinya juga merupakan senyawa ester. Jadi disini terjadi pemecahan senyawa trigliserida dan migrasi gugus alkil antara senyawa ester. Ester yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi ini disebut biodiesel. R' adalah gugus alkil dan R1– R3 merupakan gugus asam lemak jenuh dan tak jenuh rantai panjang (Aziz, 2011).



Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi bolak balik yang relatif lambat. Untuk mempercepat jalannya reaksi dan meningkatkan hasil, proses dilakukan dengan pengadukan yang baik, penambahan katalis dan pemberian reaktan berlebih agar reaksi bergeser ke kanan. Pemilihan katalis dilakukan berdasarkan kemudahan penanganan dan pemisahannya dari produk. Untuk itu dapat digunakan katalis asam, basa dan penukar ion (Aziz, 2011).

Transesterifikasi menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters/FAME*) atau biodiesel dan gliserol (gliserin) sebagai produk samping. Katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi adalah basa/alkali (Hikmah, 2010).



Transesterifikasi (disebut juga alkoholisis) adalah reaksi antara lemak atau minyak nabati dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol. Biasanya dalam reaksi ini digunakan katalis untuk meningkatkan laju reaksi dan jumlah yield produk. Karena reaksi ini adalah reaksi reversible, maka digunakan alkohol berlebih untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk (*Hikmah, 2010*).

## 2.4 Katalis

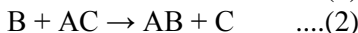
Katalis berfungsi untuk mempercepat reaksi dan menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi dapat berlangsung pada suhu kamar sedangkan tanpa katalis reaksi dapat berlangsung pada suhu 250°C (*Faizal, 2013*). Penggunaan katalis dalam berbagai reaksi kimia maupun proses industri semakin meningkat. Kemampuan katalis untuk meningkatkan kecepatan reaksi kimia menyebabkan proses kimia dengan menggunakan katalis bersifat lebih ekonomis. Katalis ditambahkan dalam sistem reaksi untuk mempercepat reaksi. Fungsi katalis di dalam reaksi adalah menyediakan situs aktif untuk mempertemukan reaktan-reaktan serta menyumbangkan tenaga dalam bentuk panas sehingga akan memudahkan molekul reaktan untuk melewati tenaga pengaktifan (*Lestari, 2011*).

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tetapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk (*Wikipedia, 2015*).

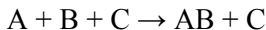
Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama: katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Satu contoh sederhana untuk katalisis heterogen yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terjepit. Ikatan dalam substrat-substrat menjadi lemah sedemikian sehingga memadai terbentuknya produk baru. Ikatan antara produk dan katalis lebih



lemah, sehingga akhirnya terlepas. Katalis homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan katalisnya. Berikut ini merupakan skema umum reaksi katalitik, di mana C melambangkan katalisnya:



Meskipun katalis (C) termakan oleh reaksi 1, namun selanjutnya dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi,



katalis tidak termakan atau pun tercipta (*Wikipedia, 2015*).

Semakin besar jumlah katalis basa yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi pada pembuatan metil ester, maka akan menyebabkan jumlah metil ester yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh reaksi berlebih dari katalis dengan trigliserida yang membentuk sabun dan menghasilkan produk samping berupa gliserol yang lebih banyak. Pembentukan sabun terlihat dari hasil transesterifikasi yang keruh pada sampel dengan jumlah katalis yang lebih banyak (*Faizal, 2013*).

Kemampuan senyawa kimia untuk mengkatalisis reaksi kimia diukur dari aktivitas katalis yang biasanya dinyatakan dalam persentase konversi atau jumlah produk yang dihasilkan dari jumlah reaktan yang digunakan dalam waktu reaksi tertentu (*Lestari, 2011*).

Katalis mempunyai umur pakai. Umur pakai katalis atau waktu pakai katalis dapat didefinisikan sebagai periode selama katalis dapat memproduksi produk yang diinginkan dengan dengan hasil yang tidak jauh berbeda dengan kondisi awal. Umur pakai atau waktu pakai katalis sangat dipengaruhi oleh jenis reaktan yang digunakan, di samping tekanan dan temperatur yang digunakan dalam proses (*Lestari, 2011*).

Pemakaian katalis yang berulang-ulang akan menyebabkan aktivitas katalis akan semakin menurun (terjadi deaktivasi). Terjadinya deaktivasi ini tentu merupakan proses



yang kurang menguntungkan secara ekonomis sehingga efeknya harus diminimalkan. Pada kebanyakan katalis, aktivitas katalis akan turun secara tajam pada awal proses dan kemudian akan mencapai kondisi di mana penurunan aktivitas katalis berjalan lambat terhadap waktu. Beberapa penyebab penurunan aktivitas katalis adalah terjadinya pengotoran (*fouling*) pada permukaan katalis, terjadinya peracunan katalis (*poisoning*), terjadinya penggumpalan (*sintering*) (Lestari, 2011).

## 2.5 KOH

Katalis basa homogen seperti NaOH (natrium hidroksida) dan KOH (kalium hidroksida) merupakan katalis yang paling umum digunakan dalam proses pembuatan biodiesel karena dapat digunakan pada temperatur dan tekanan operasi yang relatif rendah serta memiliki kemampuan katalisator yang tinggi. Akan tetapi, katalis basa homogen sangat sulit dipisahkan dari campuran reaksi sehingga tidak dapat digunakan kembali dan pada akhirnya akan ikut terbuang sebagai limbah yang dapat mencemarkan lingkungan (Santoso, 2013).

**Tabel 2.2** Sifat Kimia KOH

Rumus molekul	KOH
Massa molar	56,1 g/mol
Densitas	56,11 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	406 <sup>0</sup> C
Titik didih	1320 <sup>0</sup> C
Kelarutan dalam air	1100 g/L (25 <sup>0</sup> C)

Pembuatan biodiesel umumnya dilakukan dengan menggunakan katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH karena memiliki kemampuan katalisator yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis lainnya. Akan tetapi, penggunaan katalis ini memiliki kelemahan yaitu sulit dipisahkan dari campuran reaksi sehingga tidak dapat digunakan kembali dan pada akhirnya akan ikut terbuang sebagai limbah yang dapat mencemarkan lingkungan (Santoso, 2013).



Gambar 2.1 Kalium Hidroksida

## 2.6 Methanol

Metanol adalah senyawa alkohol berantai karbon terpendek dan bersifat polar. Sehingga dapat bereaksi lebih cepat dengan asam lemak dapat melarutkan semua jenis katalis (baik basa maupun asam) dan lebih ekonomis (Fangrui, 1999).

Salah satu bahan yang digunakan didalam proses transesterifikasi ialah metanol. Metanol disebut juga metil alkohol merupakan senyawa paling sederhana dari gugus alkohol. Rumus kimianya adalah  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Metanol berwujud cairan yang tidak berwarna, dan mudah menguap. Metanol memiliki berat molekul 32,042, titik leleh  $-98^\circ\text{C}$  dan titik didih  $64^\circ\text{C}$ . Pada umumnya metanol digunakan dalam proses transesterifikasi karena metanol harga yang lebih murah dan lebih mudah untuk dikonversi (Indah, 2011).

Tabel 2.3 Sifat Fisika-Kimia Methanol

Rumus molekul	$\text{CH}_3\text{OH}$
Massa molar	32,04 g/mol
Penampilan	Tidak berwarna
Densitas	0,7918 g/cm <sup>3</sup> , liquid
Titik lebur	$-97^\circ\text{C}$ , $-142,9^\circ\text{F}$ (176 K)
Titik didih	$64,7^\circ\text{C}$ , $148,4^\circ\text{F}$ (337.8 K)
Kelarutan dalam air	Mudah bercampur



Keasaman ( $pK_a$ )	$\sim 15.5$
Viskositas	0.59 mPa·s at 20 °C

## 2.7 Gliserol

Gliserol adalah produk samping produksi biodiesel dari reaksi transesterifikasi dan merupakan senyawa alkohol dengan gugus hidroksil berjumlah tiga buah. Gliserol (1,2,3 propanetriol) merupakan cairan yang tidak berwarna, tidak berbau dan merupakan cairan kental yang memiliki rasa manis. Gliserol dapat dimurnikan dengan proses destilasi agar dapat digunakan pada industri makanan, farmasi atau juga dapat digunakan untuk pengolahan air. Sebagai produk samping industri biodiesel, gliserol belum banyak diolah sehingga nilai jualnya masih rendah (Prasetyo, 2012).

Pengolahan gliserol lebih lanjut dapat meningkatkan nilai ekonominya. Seiring dengan peningkatan produktifitas biodiesel maka produktifitas gliserol juga meningkat. Gliserol adalah produk samping dari biodiesel dari proses transesterifikasi untuk memperoleh metil ester. Pada tahun 2010 diperkirakan diproduksi sekitar 1,2 juta ton gliserol yang lebih dari separuhnya berasal dari produksi biodiesel (Prasetyo, 2012).

Turunan gliserol banyak diaplikasikan pada berbagai arahan produk yang sangat beragam. Secara umum arahan penggunaan produk adalah di bidang kosmetik, makanan, kertas tissue, tinta, *additive* bahan bakar serta masih banyak lagi (Prasetyo, 2012).

**Tabel 2.4** Sifat Fisika-Kimia Gliserol

Berat Molekul	92,095 g/mol
Titik didih	290 °C
Titik leleh	18 °C
Temperatur Kritis	451,85 °C
Tekanan Kritis	65,82778 atm
<i>Specific Gravity</i> (25°C)	1,262
Densitas	1,261 g/cm <sup>3</sup>
Viskositas	1,5 Pa.s
<i>Flash Point</i>	160 °C
Kenampakan	Cairan kuning pucat





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PEMBUATAN PRODUK**

#### **3.1 Bahan yang Digunakan**

1. Minyak Goreng bekas
2. *Methanol*
3. KOH
4. NaOH
5. Indikator PP
6. Alkohol 96%
7. *Aquadest*

#### **3.2. Peralatan yang Digunakan**

1. *Beaker glass*
2. Buret dan statif
3. Cawan Porselen
4. *Erlenmeyer*
5. Gelas ukur
6. *Hot Plate Stirrer*
7. Kaki tiga
8. Labu ukur
9. *Magnetic Stirrer*
10. Piknometer
11. Pipet tetes
12. Spatula
13. Thermometer
14. Timbangan Elektrik
15. Viskometer

#### **3.3 Variabel yang Digunakan**

##### **Variabel Tetap**

1. Suhu = 60°C
2. Perbandingan volume Minyak Goreng bekas: Metanol = 4:1

**Variabel berubah**

1. Katalis KOH = 0,5%; 1%; 1,5%; 2%
2. Kecepatan Putaran = 600, 800, 1000 rpm

**3.4. Prosedur Pembuatan****3.4.1. Tahap Pretreatmen Bahan Baku**

1. Menyiapkan Minyak Goreng bekas.
2. Melakukan penyaringan minyak goreng bekas menggunakan kertas saring.
3. Melakukan analisa FFA pada minyak goreng bekas.

**3.4.2. Tahap Proses Pembuatan Produk****3.4.2.1. Tahap Transesterifikasi**

1. Memasukkan minyak goreng bekas yang mengandung FFA <5% kedalam reaktor sebanyak 400 ml.
2. Menambahkan kalium methoksida yaitu campuran antara metanol 100 ml dan katalis KOH dengan konsentrasi 0,5%.
3. Menyalakan *stire* dan menjaga suhu konstan 60°C selama 1 jam.
4. Memasukkan kedalam corong pemisah dan mendiamkan selama 24 jam hingga terbentuk dua lapisan.
5. Membuka valve corong pemisah untuk mengeluarkan lapisan bawah.
6. Melakukan pengulangan pada masing-masing variabel.

**3.4.2.2. Tahap Pencucian**

1. Mengambil dan memasukkan lapisan atas tersebut kedalam erlenmeyer.
2. Menambahkan air hangat dengan perbandingan terhadap volume lapisan atas 1:1 dengan suhu 80°C kedalam corong pemisah.
3. Mengaduk menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 600 rpm selama 30 menit.
4. Kemudian mendiamkan selama 24 jam hingga larutan



tersebut membentuk dua lapisan.

5. Memisahkan lapisan atas (metil ester) dengan lapisan bawah.

### 3.4.3. Prosedur Analisa Biodiesel

#### 3.4.3.1. Analisa FFA

1. Menimbang 10 gram Minyak Goreng bekas dan memasukkannya kedalam erlenmeyer.
2. Menambahkan 50 ml alkohol 96%.
3. Memanaskannya pada suhu 60°C selama 10 menit sambil diaduk.
4. Menambahkan indikator pp 1% sebanyak 3 tetes.
5. Menitrasi dengan larutan NaOH 1 N hingga berubah warna menjadi merah jambu.
6. Menghitung kadar FFA dengan rumus :

$$\% \text{ Kandungan FFA} = \frac{\text{mL NaOH} \times \text{N NaOH} \times \text{BM Minyak Goreng}}{\text{gram sampel}} \times 100\%$$

#### 3.4.3.2. Pengukuran viskositas

1. Memasukkan biodiesel ke dalam *viscometer Ostwald*.
2. Menghisap cairan dengan karet penghisap kedalam bola kecil hingga melewati batas atas pada *viscometer ostwald*.
3. Membiarkan cairan mengalir ke bawah hingga tepat pada batas bawah.
4. Mencatat waktu yang diperlukan larutan untuk mengalir dari batas atas ke batas bawah dengan *stopwatch*.
5. Menghitung viskositas yang dihasilkan dari Minyak Goreng bekas .

$$v = C \times t$$

Dimana:

V = Viskositas Kinematik, cSt (mm<sup>2</sup>/detik)

C = Konstanta Viskositas, cSt/detik (mm<sup>2</sup>/detik<sup>2</sup>)



$t$  = Waktu alir (detik)

#### 3.4.3.3. Uji Densitas

1. Menimbang berat piknometer kosong 10 ml.
2. Memasukkan biodiesel dalam piknometer 10 ml.
3. Menimbang berat piknometer yang telah terisi biodiesel.
4. Menghitung densitas dengan rumus.

$$\rho \text{ metil ester} = \frac{Ma - Mb}{V \text{ piknometer}}$$

Keterangan: -  $Ma$  = massa piknometer yang berisi biodiesel

-  $Mb$  = massa piknometer kosong

#### 3.4.3.4. Uji Flash Point

1. Menuangkan hasil biodiesel dari Minyak Goreng bekas sebanyak 10 ml kedalam cawan porselen.
2. Meletakkan cawan porselen yang berisi sampel di atas kaki tiga.
3. Melihat suhu awal sampel sebagai  $t_0^\circ\text{C}$ .
4. Menyalakan bunsen.
5. Mencatat waktu setiap kenaikan suhu  $3^\circ\text{C}$ .
6. Mencatat temperatur ketika timbul asap.
7. Mencatat temperatur ketika sampel menyala pertama kali sebagai titik nyala (*flash point*).

#### 3.4.3.5. Uji Cloud point

1. Menuangkan 10 ml biodiesel ke dalam tabung uji.
2. Menutup tabung uji dengan *aluminium foil* yang telah dipasang termometer dan mengaturnya sehingga permukaan kapiler termometer berada 3 mm dibawah permukaan biodiesel.
3. Menempatkan lempeng pada dasar jaket dan juga menempatkan cincin gasket di sekeliling tabung uji kemudian memasukkannya ke dalam jaket.
4. Mempertahankan suhu pendinginan pada  $\pm 0^\circ\text{C}$ .



5. Mengamati penurunan temperatur setiap 1°C dengan mengangkat tabung uji dan mengamati terjadinya kabut.
6. Mencatat suhu ketika terjadi kabut.

#### **3.4.3.6. Uji Angka Asam**

1. Menimbang 10 gram biodiesel dalam erlenmeyer 250 mL.
2. Menambahkannya dengan 50 mL etanol 96%.
3. Memanaskannya pada suhu 60°C selama 10 menit sambil diaduk.
4. Menambahkan indikator PP 1% sebanyak 3 tetes.
5. Menitrasi dengan larutan KOH 0,1 N hingga berwarna merah jambu.
6. Menghitung angka asam dengan rumus :

$$\text{Angka asam} = \frac{A \times N \times 56,1}{G} \times 100\%$$

Keterangan : - A = Volume titrasi  
- N = Normalitas KOH  
- G = Berat Biodiesel

#### **3.4.3.7. Uji Index Setana sesuai ASTM D4737**

1. Menentukan densitas bahan bakar pada suhu 15°C, sesuai dengan metode D1298 atau metode D4052.
2. Melakukan destilasi dan menentukan 10%, 50%, dan 90% recovery pada temperatur bahan bakar, seperti yang ada pada metode D86.
3. Menghitung dengan rumus:

$$\text{CCI} = 45,2 + (0,0892)(T_{10N}) + [0,131 + (0,901)(B)][T_{50N}] + [0,0523 - (0,420)(B)][T_{90N}] + [0,00049][(T_{10N})^2 - (T_{90N})^2] + (107)(B) + (60)(B)^2$$



Keterangan:

CCI = *Calculated Cetane Index*

D = densitas pada suhu 15°C

DN =  $D - 0,85$

B =  $[e^{(-3,5)(DN)}] - 1$

T<sub>10</sub> = suhu 10% recovery, °C

T<sub>10N</sub> = T<sub>10</sub> - 215

T<sub>50</sub> = suhu 50% recovery, °C

T<sub>50N</sub> = T<sub>10</sub> - 260

T<sub>90</sub> = suhu 90% recovery, °C

T<sub>90N</sub> = T<sub>10</sub> - 310

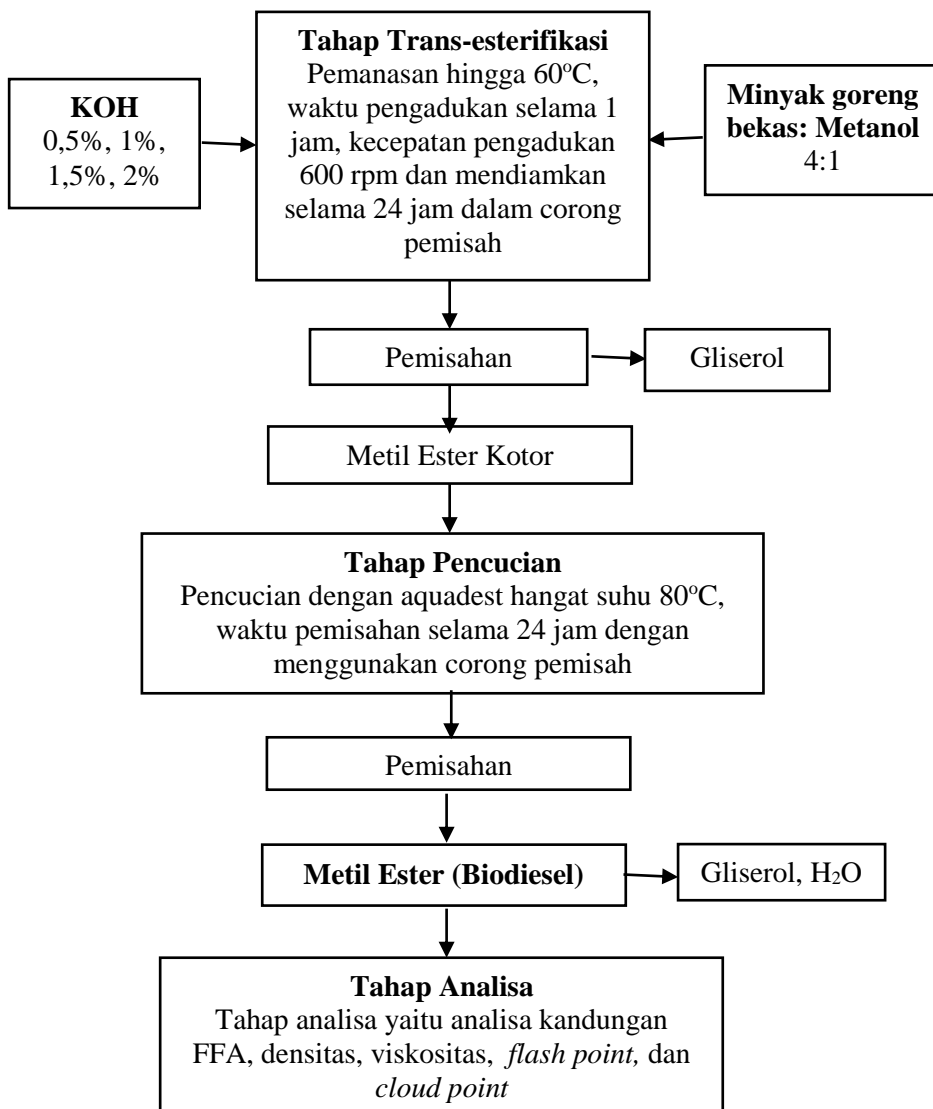
#### 3.4.4.Tempat Pelaksanaan

Penelitian Pembuatan biodiesel dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi dilaksanakan:

1. Laboratorium Kimia Organik Departemen Teknik Kimia ITS
2. Laboratorium Teknik Pembakaran Departemen Teknik Kimia ITS



### 3.5 Diagram Alir Proses Pembuatan

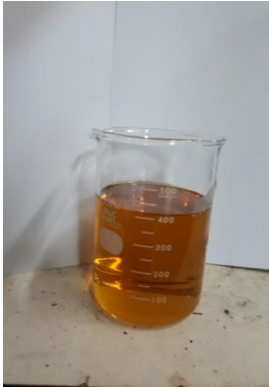






### 3.6 Rangkaian Alat Percobaan

#### 3.6.1 Tahap Pretreatmen Bahan Baku



Menyiapkan minyak goreng bekas



Melakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring

#### 3.6.2 Tahap Proses Pembuatan Produk

##### 3.6.2.1 Tahap Pembuatan Natrium Metoksida



Menimbang



Memasukkan KOH yang telah ditimbang kedalam erlenmeyer yang telah berisi methanol dan mengaduknya hingga homogen



### 3.6.2.2 Tahap Transesterifikasi



Memasukkan minyak goreng bekas kedalam reaktor



Memasukkan kalium metoksida yang telah dibuat kedalam reaktor



Mendiamkan hasil Transesterifikasi selama 24 jam



Mengaduk campuran tersebut selama 60 menit dengan suhu  $65^{\circ}\text{C}$  dan kecepatan 600 rpm

### 3.6.2.2 Tahap Pencucian



Memanaskan air  
sampai suhu  $80^{\circ}\text{C}$



Mencampurkan air yang telah  
dipanaskan dan hasil transesterifikasi  
dengan perbandingan 1:1 dengan  
pengadukan 600 rpm selama 30 menit



Mendiamkan hasil pencucian selama  
24 jam hingga terbentuk 2 lapisan



### 3.6.2 Tahap Analisa



Analisa Densitas



Analisa Viskositas

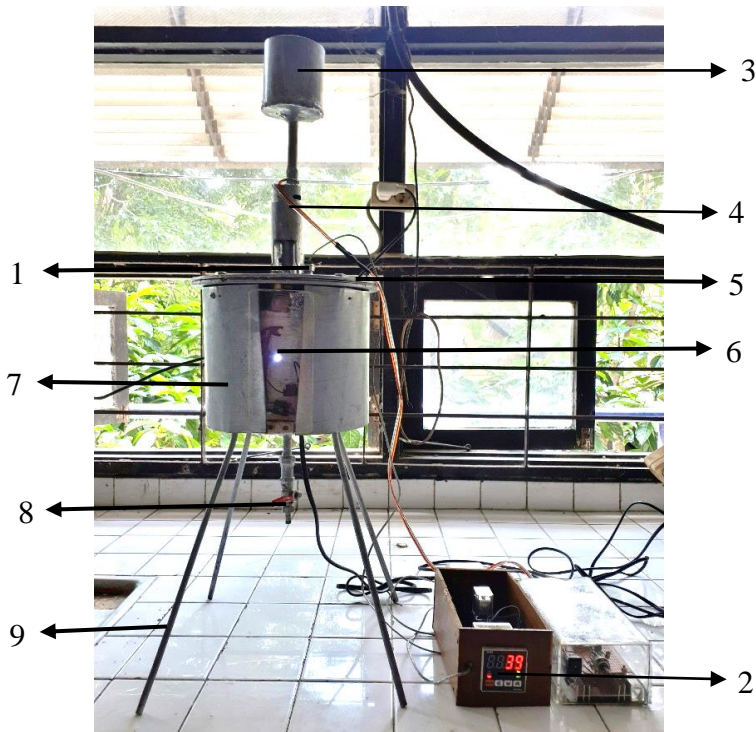


Analisa *Cloud Point*



Analisa *Flash Point*

### 3.7 Gambar Alat



**Gambar 3.1** Tangki Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi

Keterangan:

1. *Thermocouple*
2. Indikator Suhu
3. Tempat *Feed* Masuk
4. Motor Penggerak
5. Tutup Tangki
6. *Thermostat*
7. Dinding Tangki
8. Kran (*Valve*)
9. Penyangga Tangki

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Penelitian**

Bahan baku yang digunakan adalah minyak goreng bekas yang diperoleh dari hasil penggorengan rumah tangga. Minyak goreng bekas ini memiliki %FFA kurang dari 5%, sehingga bisa langsung dilakukan proses transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel. Berikut adalah hasil analisa minyak goreng bekas:

**Tabel 4.1** Hasil Analisa Sifat Fisika-Kimia Minyak Goreng bekas

<b>Karakteristik Fisika-Kimia</b>	<b>Hasil Analisa</b>
Warna	Kuning Kecoklatan
Bau	Menyengat Khas Minyak Goreng bekas
Densitas	0,949 gm/ml
Kadar FFA	2,526%

Dari **tabel 4.1** dapat diketahui bahwa kadar FFA dalam minyak goreng bekas sebesar 2,526%, sehingga dapat langsung dilakukan proses transesterifikasi.

Katalis homogen yang banyak digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa/alkali seperti kalium hidroksida (KOH) dan Natrium Hidroksida (NaOH). Katalis yang digunakan dalam praktikum ini yaitu katalis KOH. Katalis homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan katalisnya (*Wikipedia, 2015*).

#### **4.2 Pembahasan Hasil Analisa Biodiesel**

Hasil biodiesel yang diperoleh dari minyak goreng bekas kemudian dianalisa sifat kimianya diantaranya viskositas kinematik, massa jenis (densitas), titik kabut (*cloud point*), angka asam, dan titik nyala (*flash point*) kemudian membandingkannya dengan SNI Biodiesel.





Hasil analisa transesterifikasi dapat dilihat pda tabel berikut:

**Tabel 4.2** Hasil Analisa Transesterifikasi pada Perbandingan volume Metanol:Minyak Goreng bekas 1:4 dengan Variabel Katalis KOH 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 600 RPM

Analisa	Katlis KOH	Hasil Analisa	SNI 7182-2012
Densitas pada suhu 40 <sup>0</sup> C	0,5%	-	850-890 (kg/m <sup>3</sup> )
	1%	850 kg/m <sup>3</sup>	
	1,5%	880 kg/m <sup>3</sup>	
	2%	860 kg/m <sup>3</sup>	
Viskositas Kinematik	0,5%	-	2,3 – 6,0 (mm <sup>2</sup> /s)
	1%	2,31 mm <sup>2</sup> /s	
	1,5%	1,65 mm <sup>2</sup> /s	
	2%	1,15 mm <sup>2</sup> /s	
Flash Point	0,5%	-	Min. 100 <sup>0</sup> C
	1%	124 <sup>0</sup> C	
	1,5%	120 <sup>0</sup> C	
	2%	131 <sup>0</sup> C	
Cloud Point	0,5%	-	Max. 18 <sup>0</sup> C
	1%	4 <sup>0</sup> C	
	1,5%	7 <sup>0</sup> C	
	2%	6 <sup>0</sup> C	
Angka Asam	0,5%	-	Maks. 0,8 mg KOH/g
	1%	0,1122 mg KOH/g	
	1,5%	0,1683 mg KOH/g	
	2%	0,0561 mg KOH/g	

**Tabel 4.3** Hasil Analisa Transesterifikasi pada Perbandingan volume Metanol:Minyak Goreng bekas 1:4 dengan Variabel Katalis KOH 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 800 RPM

Analisa	Katlis KOH	Hasil Analisa	SNI 7182-2012
Densitas pada suhu 40 <sup>0</sup> C	0,5%	850 kg/m <sup>3</sup>	850-890 (kg/m <sup>3</sup> )
	1%	860 kg/m <sup>3</sup>	
	1,5%	880 kg/m <sup>3</sup>	
	2%	860 kg/m <sup>3</sup>	



Viskositas Kinematik	0,5%	4,29 mm <sup>2</sup> /s	2,3 – 6,0 (mm <sup>2</sup> /s)
	1%	2,47 mm <sup>2</sup> /s	
	1,5%	2,31 mm <sup>2</sup> /s	
	2%	3,96 mm <sup>2</sup> /s	
Flash Point	0,5%	151 °C	Min. 100 °C
	1%	146 °C	
	1,5%	144 °C	
	2%	149 °C	
Cloud Point	0,5%	6 °C	Max. 18 °C
	1%	7 °C	
	1,5%	11 °C	
	2%	10 °C	
Angka Asam	0,5%	0,1683 mg KOH/g	Maks. 0,8 mg KOH/g
	1%	0,2805 mg KOH/g	
	1,5%	0,3366 mg KOH/g	
	2%	0,2244 mg KOH/g	

**Tabel 4.4** Hasil Analisa Transesterifikasi pada Perbandingan volume Metanol:Minyak Goreng bekas 1:4 dengan Variabel Katalis KOH 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 1000 RPM

Analisa	Katlis KOH	Hasil Analisa	SNI 7182-2012
Densitas pada suhu 40°C	0,5%	870 kg/m <sup>3</sup>	850-890 (kg/m <sup>3</sup> )
	1%	890 kg/m <sup>3</sup>	
	1,5%	880 kg/m <sup>3</sup>	
	2%	870 kg/m <sup>3</sup>	
Viskositas Kinematik	0,5%	4,29 mm <sup>2</sup> /s	2,3 – 6,0 (mm <sup>2</sup> /s)
	1%	2,80 mm <sup>2</sup> /s	
	1,5%	4,29 mm <sup>2</sup> /s	
	2%	5,28 mm <sup>2</sup> /s	
Flash Point	0,5%	160 °C	Min. 100 °C
	1%	148 °C	
	1,5%	149 °C	
	2%	154 °C	

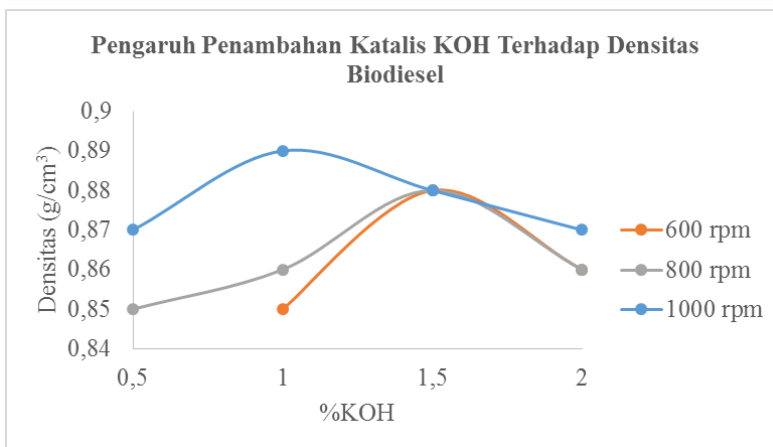




<i>Cloud Point</i>	0,5%	9 °C	Max. 18 °C
	1%	13 °C	
	1,5%	11 °C	
	2%	10 °C	
Angka Asam	0,5%	0,3366 mg KOH/g	Maks. 0,8 mg KOH/g
	1%	0,561 mg KOH/g	
	1,5%	0,4488 mg KOH/g	
	2%	0,3927 mg KOH/g	

#### 4.2.1 Pengaruh Penambahan Katalis KOH Terhadap Densitas Biodiesel

Densitas menunjukkan perbandingan berat persatuan volume. Karakteristik ini berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Densitas terkait dengan viskositas. Jika biodiesel mempunyai densitas melebihi ketentuan, akan terjadi reaksi tidak sempurna pada konversi minyak nabati. Biodiesel dengan mutu seperti ini seharusnya tidak digunakan untuk mesin diesel karena akan meningkatkan keausan mesin, emisi, dan menyebabkan kerusakan pada mesin. Standar SNI untuk densitas biodiesel adalah 850-890 kg/m<sup>3</sup> pada suhu 40°C (Hasanatan, 2012).



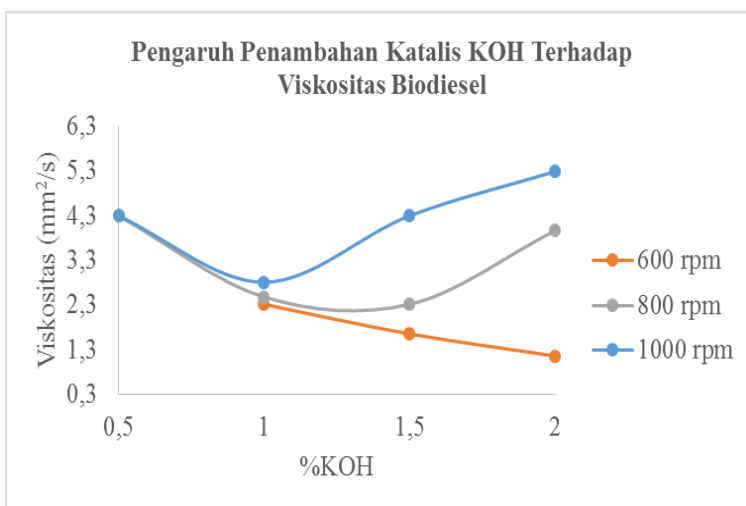
**Grafik 4.1** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap densitas biodiesel dari minyak goreng bekas

Pada **grafik 4.1** didapatkan nilai densitas pada rasio volume metanol:minyak goreng bekas 1:4 dengan variabel penambahan katalis KOH sebanyak 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 600 rpm yaitu sebesar 850, 880, dan 860 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan pada kecepatan putar 800 rpm sebesar 850, 860, 880, dan 860 kg/m<sup>3</sup> dan pada kecepatan putar 1000 rpm sebesar 870, 890, 880, dan 870 kg/m<sup>3</sup>. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil sesuai dengan range standar mutu biodiesel Indonesia yaitu 0,85-0,89 gr/ml. Densitas berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel. Densitas yang rendah akan menghasilkan nilai kalor yang tinggi. Hal ini belum sesuai dengan literatur yang menyatakan semakin banyak jumlah katalis yang digunakan pada pembuatan biodiesel, maka semakin besar densitas dari produk biodiesel yang dihasilkan. Jumlah katalis basa yang lebih banyak mendorong terjadinya reaksi penyabunan. Hal ini dapat menimbulkan zat-zat sisa atau pengotor dari reaksi yang tidak terkonversi menjadi metil ester akan menyebabkan densitas metil ester semakin besar. Penggunaan katalis basa yang lebih sedikit akan menghasilkan metil ester dengan densitas yang lebih rendah (Faizal, 2013).



### 4.2.2 Pengaruh Penambahan Katalis KOH Terhadap Viskositas Biodiesel

Viskositas kinematika adalah suatu angka yang menyatakan besarnya perlawanan atau hambatan dalam dari sebuah bahan cairan untuk mengalir atau ukuran tahanan geser dari bahan cair. Viskositas kinematika juga merupakan salah satu karakteristik bahan bakar diesel yang sangat penting karena akan mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel (Riyanti, 2012). Bahan bakar disel yang terlalu rendah viskositasnya akan memberikan pelumasan yang buruk dan cenderung mengakibatkan kebocoran pada pompa. Sebaliknya, viskositas yang terlalu tinggi akan menyebabkan asap kotor karena bahan bakar lambat mengalir dan lebih sulit teratomisasi (Triana, 2006).



**Grafik 4.2** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap viskositas biodiesel dari minyak goreng bekas

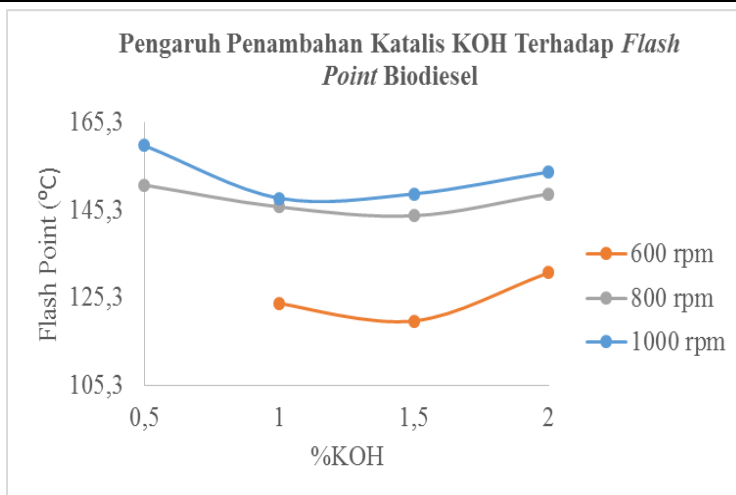
Pada **grafik 4.2** didapatkan nilai viskositas pada rasio volume metanol:minyak goreng bekas 1:4 dengan variabel penambahan katalis KOH sebanyak 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 600 rpm yaitu sebesar 2,31; 1,65; dan 1,15 mm<sup>2</sup>/s; sedangkan pada kecepatan putar 800 rpm berturut-



turut sebesar 4,29; 2,47; 2,31; dan 3,96 mm<sup>2</sup>/s; dan pada kecepatan putar 1000 rpm berturut-turut sebesar 4,29; 2,80; 4,29; dan 5,28 mm<sup>2</sup>/s. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa rata-rata viskositas dari setiap variabel sesuai dengan range SNI biodiesel yaitu 2,3-6,0 mm<sup>2</sup>/s. Dari data diatas dapat dilihat semakin banyak konsentrasi katalis viskositas semakin naik. Hal ini sesuai dengan literatur yg menyatakan semakin besar konsentrasi KOH, maka viskositas biodiesel cenderung semakin besar. Semakin banyak jumlah katalis yang digunakan pada pembuatan biodiesel, maka semakin besar viskositas dari produk biodiesel yang dihasilkan. Jumlah katalis basa yang lebih banyak mendorong terjadinya reaksi penyabunan. Hal ini dapat menimbulkan zat-zat sisa atau pengotor dari reaksi yang tidak terkonversi menjadi metil ester akan menyebabkan viskositas metil ester semakin besar. Penggunaan katalis basa yang lebih sedikit akan menghasilkan metil ester dengan viskositas yang lebih rendah (Faizal, 2013).

#### **4.2.3 Pengaruh Penambahan Katalis KOH Terhadap *Flash Point* Biodiesel**

Flash point merupakan titik nyala dari suatu bahan bakar pada suhu terendah dimana bahan bakar menghasilkan uap dan bercampur dengan udara dan membentuk campuran yang dapat menyala atau terbakar. Sehingga semakin tinggi nilai flash point suatu bahan bakar maka waktu penyalan bahan bakar tersebut semakin lama, karena kecepatan penguapannya (*Volatility*) yang lambat (Misbachudin, 2017).

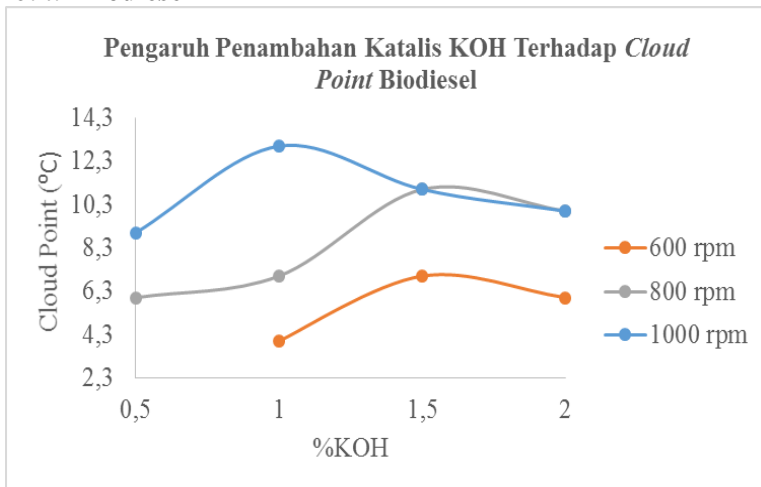


**Grafik 4.3** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap *Flash Point* biodiesel dari minyak goreng bekas

Pada **grafik 4.3** didapatkan nilai *flash point* pada rasio volume metanol:minyak goreng bekas 1:4 dengan variabel penambahan katalis KOH sebanyak 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 600 rpm yaitu sebesar 124, 120, dan 131 °C, sedangkan pada kecepatan putar 800 rpm sebesar 151, 146, 144, dan 149 °C; dan pada kecepatan putar 1000 rpm sebesar 160, 148, 149, dan 154 °C. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa rata-rata hasil sesuai dengan range standar mutu biodiesel Indonesia yaitu minimal 100 °C. Hal ini sesuai dengan literatur semakin besar jumlah katalis maka konversi biodiesel akan semakin kecil karena semakin besar kemungkinan terjadinya proses penyabunan. Hal ini menyebabkan titik nyala biodiesel akan semakin tinggi karena kandungan fraksi ringan (residu alkohol) semakin rendah, sehingga semakin tinggi temperatur yang dibutuhkan untuk biodiesel bisa menyala (*Mittelbach dan Remschmidt, 2006*).



#### 4.2.4 Pengaruh Penambahan Katalis KOH Terhadap Cloud Point Biodiesel



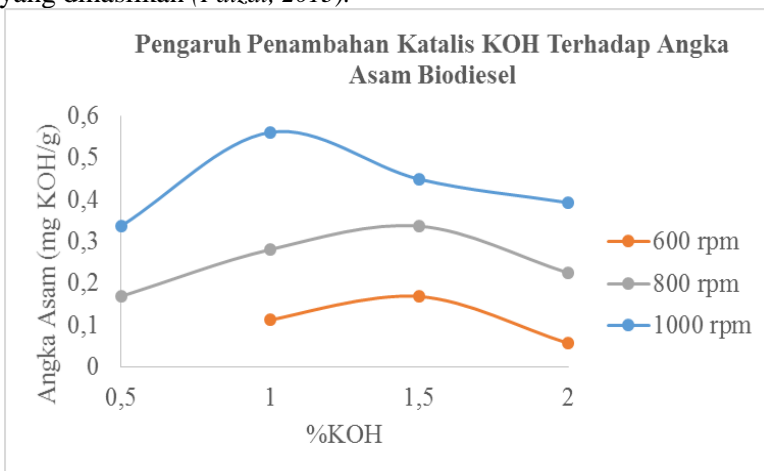
**Grafik 4.4** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap Cloud Point biodiesel dari minyak goreng bekas

Pada **grafik 4.4** didapatkan nilai *flash point* pada rasio volume metanol:minyak goreng bekas 1:4 dengan variabel penambahan katalis KOH sebanyak 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 600 rpm yaitu sebesar 4, 7, dan 6 °C, sedangkan pada kecepatan putar 800 rpm sebesar 6, 7, 11, dan 10 °C; dan pada kecepatan putar 1000 rpm sebesar 9, 13, 11, dan 10 °C. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa rata-rata hasil sesuai dengan range standar mutu biodiesel Indonesia yaitu maksimal 18 °C. Hal ini sesuai dengan literatur semakin besar jumlah katalis maka konversi biodiesel akan semakin kecil karena semakin besar kemungkinan terjadinya proses penyabunan. Hal ini menyebabkan titik kabut biodiesel akan semakin tinggi karena ikatan karbonnya semakin panjang dan ikatannya tidak jenuh (Mittelbach dan Remschmidt, 2006).



### 4.2.5 Pengaruh Penambahan Katalis KOH Terhadap Angka Asam

Semakin kecil angka asam maka akan semakin baik kualitas dari biodiesel. Angka asam berhubungan dengan pH dari masing-masing produk biodiesel. Semakin besar pH terutama berkisar antara 6 hingga 7, yaitu menuju netral maka semakin kecil angka asam serta semakin baik metil ester yang dihasilkan (Faizal, 2013).



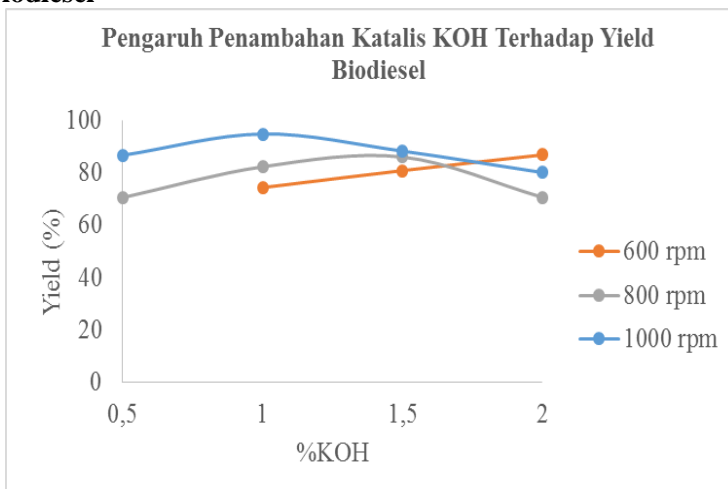
**Grafik 4.5** Hasil analisa pengaruh penambahan katalis KOH terhadap angka asam biodiesel dari minyak goreng bekas

Pada **grafik 4.5** didapatkan nilai angka asam pada rasio volume metanol:minyak goreng bekas 1:4 dengan variabel penambahan katalis KOH sebanyak 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 600 rpm yaitu sebesar 0,1122; 0,1683; dan 0,0561 mg KOH/g; sedangkan pada kecepatan putar 800 rpm berturut-turut sebesar 0,1683; 0,2805; 0,3366; dan 0,2244 mg KOH/g; dan pada kecepatan putar 1000 rpm sebesar 0,3366; 0,561; 0,4488; dan 0,3927 mg KOH/g. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil analisa angka asam tersebut sesuai dengan SNI biodiesel yaitu maksimal 0,8 mg KOH/g. Data yang diperoleh sesuai sesuai dengan literatur yang mengatakan bahwa



untuk angka asam semakin kecil katalis yang digunakan maka semakin kecil angka asam yang diperoleh (Komariah, 2008).

#### 4.2.6 Pengaruh Penambahan Katalis KOH Terhadap Yield Biodiesel



**Grafik 4.6** Pengaruh penambahan katalis KOH terhadap yield biodiesel dari minyak goreng bekas

Pada **grafik 4.6** didapatkan nilai yield pada rasio volume metanol:minyak goreng bekas 1:4 dengan variabel penambahan katalis KOH sebanyak 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan kecepatan putaran 600 rpm yaitu sebesar 74%, 81%, dan 87%, sedangkan pada kecepatan putar 800 rpm berturut-turut sebesar 70%, 82%, 86%, dan 71%; dan pada kecepatan putar 1000 rpm berturut-turut sebesar 87%, 95%, 88%, dan 80%. Menurut Aziz (2011), semakin tinggi konsentrasi katalis, konversi reaksi semakin besar. Hal ini disebabkan karena dengan naiknya konsentrasi katalis akan semakin menurunkan energi aktivasi, sehingga meningkatkan jumlah molekul yang teraktifkan yang mengakibatkan kecepatan reaksi menjadi naik. Pada hasil yield didapatkan terjadinya penurunan dengan bertambahnya jumlah katalis. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi samping





antara katalis KOH dengan minyak yang dikenal dengan saponifikasi atau reaksi penyabunan yang menyebabkan hasil penyabunan berupa surfaktan menghalangi kontak antara minyak dengan metanol. Akibatnya kecepatan reaksi dan konversi yang dihasilkan menurun (Aziz, 2011).

#### 4.2.7 Angka Setana pada Biodiesel

Angka setana mengindikasikan waktu *delay* antara tahap penginjeksian dan pembakaran bahan bakar. Angka setana biodiesel sangat dipengaruhi oleh karakteristik molekul penyusun dan ikatan kimia yang dibawa oleh sifat bahan bakunya (Komariah, 2013).

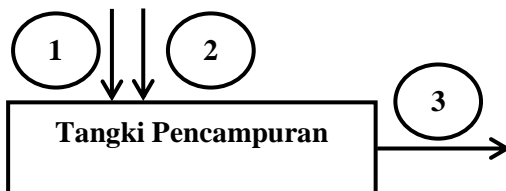
Dari hasil analisa pada variable katalis 1% dan kecepatan putar 1000 rpm didapatkan hasil angka setana yaitu 46,92. Standar untuk angka setana menurut ASTM biodiesel dan standar ASTM diesel adalah minimal 45, sehingga angka setana metil ester minyak goreng bekas telah memenuhi syarat untuk bahan bakar biodiesel maupun diesel (Riyanti, 2012).

Angka setana tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur rendah, sedangkan angka setana rendah menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur tinggi. Angka setana semakin meningkat seiring dengan penambahan variasi konsentrasi KOH. Penggunaan bahan bakar mesin diesel yang mempunyai angka setana yang tinggi dapat mencegah terjadinya *knocking* karena begitu bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder pembakaran maka bahan bakar akan langsung terbakar dan tidak terakumulasi (Riyanti, 2012).

## BAB V NERACA MASSA

Bahan Baku Masuk : 352 Kg/hari  
 Waktu operasi : 26 hari  
 Basis Waktu : 1 hari produksi

### 1. Tangki Pencampuran (R-1)



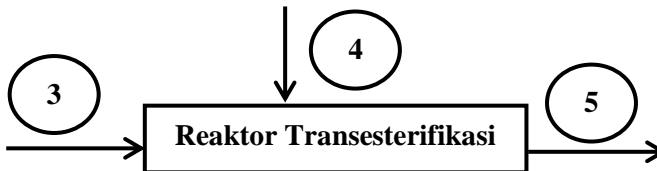
Fungsi : Untuk mereaksikan KOH dan methanol menjadi KOCH<sub>3</sub> dan air.

**Tabel V.1** Neraca Massa Tangki Pencampuran

Bahan Masuk	Massa (kg)	Bahan Keluar	Massa (kg)
Aliran 1		Aliran 3	
Kalium Hidroksida	3,533	Methanol	77,161
Kalium Hidroksida		Kalium Methoksida	4,416
Aliran 2		Water	1,136
Methanol	79,180		
TOTAL	82,713	TOTAL	82,713



## 2. Reaktor Transesterifikasi (R-2)



Fungsi : Untuk mereaksikan komponen Trigliserida dan methanol dengan penambahan katalis Kalium Methoksida untuk menghasilkan metil ester dan gliserol.

**Tabel V.2** Komposisi Minyak Jelantah

Komponen	Fraksi Berat	Massa (kg)
Trigliserida	0,97	341,35
FFA	0,025	8,89
H <sub>2</sub> O	0,005	1,76
TOTAL	1	352

**Tabel V.3** Komponen Minyak Jelantah

Komponen	BM	Fraksi
<b>Trigliserida</b>		
Tri-Laurat	638	0,002
Tri-Miristat	722	0,012
Tri-Palmitat	806	0,475
Tri-Stearat	890	0,045
Tri-Oleat	884	0,366
Tri-Linoleat	878	0,100
<b>Free Fatty Acid</b>		
Asam-Laurat	200	200
Asam-Miristat	228	228
Asam-Palmitat	256	256



Asam-Stearat	284	284
Asam-Oleat	282	282
Asam-Linoleat	280	280

Sumber : Baile's Industrial Oil And Fat Products, 1996

**Tabel V.4** Neraca Massa Reaktor Transesterifikasi

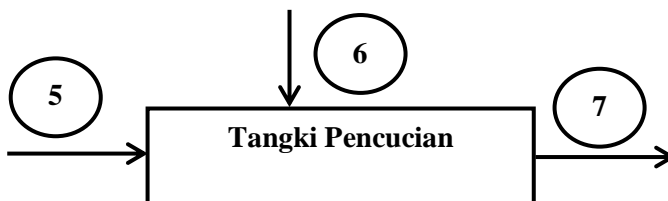
Bahan Masuk	Massa (kg)	Bahan Keluar	Massa (kg)
<b>Aliran 4</b>		<b>Aliran 5</b>	
<b>Trigliserida</b>		<b>Trigliserida</b>	
Tri-Laurat	0,683	Tri-Laurat	0,068
Tri-Miristat	4,096	Tri-Miristat	0,410
Tri-Palmitat	162,141	Tri-Palmitat	16,214
Tri-Stearat	15,361	Tri-Stearat	1,536
Tri-Oleat	124,934	Tri-Oleat	12,493
Tri-Linoleat	34,135	Tri-Linoleat	3,413
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid</b>	
Asam-Laurat	0,018	Asam-Laurat	0,018
Asam-Miristat	0,107	Asam-Miristat	0,107
Asam-Palmitat	4,223	Asam-Palmitat	4,223
Asam-Stearat	0,400	Asam-Stearat	0,400
Asam-Oleat	3,254	Asam-Oleat	3,254
Asam-Linoleat	0,889	Asam-Linoleat	0,889
<b>Others</b>		<b>Metil Ester</b>	
Water	1,760	Metil-Laurat	0,618
<b>Methanol</b>		Metil-Miristat	3,707
Methanol	0,000	Metil-Palmitat	146,651
Water	0,000	Metil-Stearat	13,887
		Metil-Oleat	87,849
		Metil-Linoleat	30,861
<b>Aliran 3</b>		<b>Others</b>	
kalium Methoksida	4,416	Water	0,000
Methanol	77,161		



### BAB V Neraca Massa

Water	1,136	<b>kalium Methoksida</b>	
		kalium Methoksida	4,416
		<b>Methanol</b>	
		Methanol	0,545
		Water	1,136
		<b>Gliserol</b>	
		Gliserol	33,565
<b>TOTAL</b>	<b>432,953</b>	<b>TOTAL</b>	<b>432,953</b>

### 3. Tangki Pencucian



Fungsi : Untuk memisahkan hasil metil ester dengan air dan metanol sisa.

**Tabel V.5** Neraca Massa Tangki Pencucian

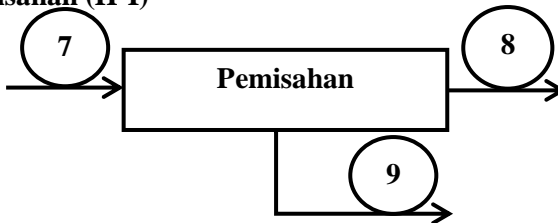
Bahan Masuk	Massa (kg)	Bahan Keluar	Massa (kg)
<b>Aliran 5</b>		<b>Aliran 7</b>	
<b>Trigliserida</b>		<b>Trigliserida Sisa</b>	
Tri-Laurat	0,068	Tri-Laurat	0,068
Tri-Miristat	0,410	Tri-Miristat	0,410
Tri-Palmitat	16,214	Tri-Palmitat	16,214
Tri-Stearat	1,536	Tri-Stearat	1,536
Tri-Oleat	12,493	Tri-Oleat	12,493
Tri-Linoleat	3,413	Tri-Linoleat	3,413
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid</b>	
Asam-Laurat	0,018	Asam-Laurat	0,018



Asam-Miristat	0,107	Asam-Miristat	0,107
Asam-Palmitat	4,223	Asam-Palmitat	4,223
Asam-Stearat	0,400	Asam-Stearat	0,400
Asam-Oleat	3,254	Asam-Oleat	3,254
Asam-Linoleat	0,889	Asam-Linoleat	0,889
<b>Metil Ester</b>		<b>Metil Ester</b>	
Metil-Laurat	0,618	Metil-Laurat	0,618
Metil-Miristat	3,707	Metil-Miristat	3,707
Metil-Palmitat	146,651	Metil-Palmitat	146,651
Metil-Stearat	13,887	Metil-Stearat	13,887
Metil-Oleat	87,849	Metil-Oleat	87,849
Metil-Linoleat	30,861	Metil-Linoleat	30,861
<b>Others</b>		<b>Others</b>	
Water	0,000	Kalium Methoksida	4,416
<b>kalium Methoksida</b>		Methanol	0,545
kalium Methoksida	4,416	Water	434,088
<b>Methanol</b>		Gliserol	33,565
Methanol	0,545		
Water	1,136		
<b>Gliserol</b>			
Gliserol	33,565		
<b>Aliran 6</b>			
Water	432,953		
<b>TOTAL</b>	<b>824,314</b>	<b>TOTAL</b>	<b>824,314</b>



#### 4. Pemisahan (H-I)



Fungsi : Untuk memisahkan hasil pencucian yang terdiri dari dua lapisan. Lapisan atas terdiri dari metil ester sedangkan lapisan bawah adalah metanol sisa, Kalium methoksida sisa, gliserol dan air.

**Tabel V.6** Neraca Massa Pemisahan

Bahan Keluar	Massa (kg)	Bahan Keluar	Massa (kg)
Aliran 7		Aliran 8	
<b>Trigliserida Sisa</b>		<b>Trigliserida Sisa</b>	
Tri-Laurat	0,068	Tri-Laurat	0,068
Tri-Miristat	0,410	Tri-Miristat	0,410
Tri-Palmitat	16,214	Tri-Palmitat	16,214
Tri-Stearat	1,536	Tri-Stearat	1,536
Tri-Oleat	12,493	Tri-Oleat	12,493
Tri-Linoleat	3,413	Tri-Linoleat	3,413
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid</b>	
Asam-Laurat	0,018	Asam-Laurat	0,018
Asam-Miristat	0,107	Asam-Miristat	0,107
Asam-Palmitat	4,223	Asam-Palmitat	4,223
Asam-Stearat	0,400	Asam-Stearat	0,400
Asam-Oleat	3,254	Asam-Oleat	3,254
Asam-Linoleat	0,889	Asam-Linoleat	0,889
<b>Metil Ester</b>		<b>Metil Ester</b>	
Metil-Laurat	0,618	Metil-Laurat	0,618
Metil-Miristat	3,707	Metil-Miristat	3,707



Metil-Palmitat	146,651	Metil-Palmitat	146,651
Metil-Stearat	13,887	Metil-Stearat	13,887
Metil-Oleat	87,849	Metil-Oleat	87,849
Metil-Linoleat	30,861	Metil-Linoleat	30,861
<b>Others</b>		<b>Others</b>	
Kalium Methoksida	4,416	Water	21,704
Methanol	0,545	<b>Aliran 9</b>	
Water	434,088	Kalium Methoksida	4,416
Gliserol	33,565	Methanol	0,545
		Water	412,384
		Gliserol	33,565
<b>TOTAL</b>	<b>824,314</b>	<b>TOTAL</b>	<b>824,314</b>





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB VI NERACA PANAS

### VI.1 Neraca Panas

Perhitungan neraca panas dimulai dari proses *pre-treatment* bahan baku, esterifikasi, hingga proses transesterifikasi.

Percobaan :

Volume Minyak Jelantah	= 400 Lt
Densitas percobaan	= 0,88 gr/ml
Massa Minyak Jelantah	= 352 Kg
Satuan	= Kg

**Tabel VI.1** Komposisi Minyak Jelantah

Komponen	Fraksi Berat	Massa (kg)
Trigliserida	0,97	341,35
FFA	0,025	8,89
H <sub>2</sub> O	0,005	1,76
TOTAL	1	352

**Tabel VI. 2** Komponen Triglicerida dalam Minyak Jelantah

Komponen	BM	Rumus Molekul	Fraksi Berat
Tri Laurat gliserida	638	C <sub>39</sub> H <sub>74</sub> O <sub>6</sub>	0,002
Tri palmitat gliserida	806	C <sub>51</sub> H <sub>98</sub> O <sub>6</sub>	0,475
Tri miristat gliserida	722	C <sub>45</sub> H <sub>86</sub> O <sub>6</sub>	0,012
Tri stearat gliserida	890	C <sub>57</sub> H <sub>110</sub> O <sub>6</sub>	0,045
Tri oleat gliserida	884	C <sub>57</sub> H <sub>104</sub> O <sub>6</sub>	0,366
Tri linoleat gliserida	878	C <sub>57</sub> H <sub>98</sub> O <sub>6</sub>	0,1
Total			1

**Tabel VI.3** Komponen *Free Fatty Acid* dalam Minyak Jelantah

<b>Komponen</b>	<b>BM</b>	<b>Rumus Molekul</b>	<b>Fraksi Berat</b>
Asam Laurat	200	$C_{12}H_{24}O_2$	0,002
Asam Miristat	228	$C_{16}H_{32}O_2$	0,475
Asam Palmitat	256	$C_{14}H_{28}O_2$	0,012
Asam Stearat	284	$C_{18}H_{36}O_2$	0,045
Asam Oleat	282	$C_{18}H_{34}O_2$	0,366
Asam Linoleat	280	$C_{18}H_{32}O_2$	0,1
Total			1

**Tabel VI.4** Komponen Metil Ester dalam Biodiesel

<b>Komponen</b>	<b>BM</b>	<b>Rumus Molekul</b>
Laurat Metyl Ester	214	$C_{11}H_{23}COOCH_3$
Miristat Metyl Ester	270	$C_{15}H_{31}COOCH_3$
Palmitat Metyl Ester	242	$C_{13}H_{27}COOCH_3$
Stearat Metyl Ester	298	$C_{17}H_{35}COOCH_3$
Oleat Metyl Ester	296	$C_{17}H_{33}COOCH_3$
Linoleat Metyl Ester	294	$C_{17}H_{31}COOCH_3$

**VI.1.1 Menentukan *Heat Capacity (cp)* Tiap Komponen :**

Dari tabel 8.2 Coulson & Richardson's "*Chemical Engineering*" volume 6, 4th edition hal 321 diperoleh data untuk perhitungan *heat capacity* (*cp*) komponen – komponen yang terkandung di dalam Minyak Jelantah :

Table 8.2. Heat capacities of the elements, J/mol°C

Element	Solids	Liquids
C	7.5	11.7
H	9.6	18.0
B	11.3	19.7
Si	15.9	24.3
O	16.7	25.1
F	20.9	29.3
P and S	22.6	31.0
all others	26.0	33.5

**Gambar VI.1** Heat Capacities of The Elements, J/mol°C

$$1 \text{ J/mol}^\circ\text{C} = 1 \text{ kJ/kmol}^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} = 0,24 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C} = 4,1868 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

**Tabel VI.5** Perhitungan Cp pada Trigliserida Minyak Jelantah

Komponen	Rumus Molekul	kJ/kmol °C	kJ/kg °C	Kcal/kg °C
Tri Laurat gliserida	$\text{C}_{39}\text{H}_{74}\text{O}_6$	1938,900	3,039	0,729
Tri palmitat gliserida	$\text{C}_{51}\text{H}_{98}\text{O}_6$	2511,300	3,116	0,748
Tri miristat gliserida	$\text{C}_{45}\text{H}_{86}\text{O}_6$	2797,500	3,143	0,754
Tri stearat gliserida	$\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6$	2581,500	2,940	0,706
Tri oleat gliserida	$\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$	2225,100	3,082	0,74
Tri linoleat gliserida	$\text{C}_{57}\text{H}_{98}\text{O}_6$	2689,500	3,042	0,730

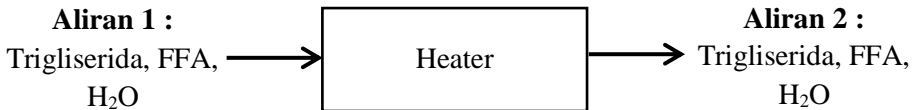
**Tabel VI.6** Perhitungan Cp pada FFA Minyak Jelantah

Komponen	Rumus Molekul	kJ/kmol°C	kJ/kg°C	Kcal/kg°C
Asam Laurat	$C_{12}H_{24}O_2$	622,6	3,113	0,747
Asam Miristat	$C_{14}H_{28}O_2$	813,4	3,1773	0,763
Asam Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	908,8	3,2000	0,768
Asam Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	836,8	2,9886	0,71
Asam Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	718	3,1491	0,756
Asam Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	872	3,095	0,743

**Tabel VI.7** Heat Capacity (Cp) pada Komponen lain

Komponen	Rumus Molekul	kJ/kmol°C	kJ/kg°C	Kcal/kg°C
Cp KOH	KOH	76,6	1,365	0,328
Cp KOCH <sub>3</sub>	KOCH <sub>3</sub>	124,3	1,7757	0,4262

## 1. Neraca Panas pada Proses *Pre-Treatment* Minyak Jelantah



Entalpi bahan masuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot (T - T_{ref})$$

T masuk	30°C	T keluar	60°C
T ref	25°C	T ref	25°C
$\Delta T$	5°C	$\Delta T$	35°C

**Tabel VI.8** Perhitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 1)

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	ΔH (Kcal)
<b>Trigliserida</b>					
Tri-Laurat	0,683	0,415	30	5	1,416
Tri-Miristat	4,096	0,420	30	5	8,601
Tri-Palmitat	162,141	0,424	30	5	343,633
Tri-Stearat	15,361	0,427	30	5	32,800
Tri-Oleat	124,934	0,414	30	5	258,816
Tri-Linoleat	34,135	0,401	30	5	68,511
<b>FFA</b>					
Asam-Laurat	0,018	0,425	30	5	0,038
Asam-Miristat	0,107	0,429	30	5	0,229
Asam-Palmitat	4,223	0,432	30	5	9,119
Asam-Stearat	0,400	0,434	30	5	0,869
Asam-Oleat	3,254	0,421	30	5	6,852
Asam-Linoleat	0,889	0,408	30	5	1,812
Water	1,760	0,999	30	5	8,787
Total	352,000				741,483

**Tabel VI.9** Perhitungan Entalpi Bahan keluar (Aliran 2)

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	ΔH (Kcal)
<b>Trigliserida</b>					
Tri-Laurat	0,683	0,729	60	35	17,428
Tri-Miristat	4,096	0,740	60	35	106,040
Tri-Palmitat	162,141	0,748	60	35	4243,600
Tri-Stearat	15,361	0,754	60	35	405,574
Tri-Oleat	124,934	0,730	60	35	3192,843
Tri-Linoleat	34,135	0,706	60	35	843,053
<b>FFA</b>					
Asam-Laurat	0,018	0,747	60	35	0,465



## BAB VI Neraca Panas

Asam-Miristat	0,107	0,756	60	35	2,822
Asam-Palmitat	4,223	0,763	60	35	112,723
Asam-Stearat	0,400	0,768	60	35	10,755
Asam-Oleat	3,254	0,743	60	35	84,606
Asam-Linoleat	0,889	0,717	60	35	22,321
H <sub>2</sub> O	1,760	1,000	60	35	61,600
Total	352,000				9103,831

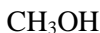
Tabel VI.10 Neraca Panas *Pre-Treatment* Minyak Jelantah

Komponen Masuk	$\Delta H$ (Kcal)	Komponen Keluar	$\Delta H$ (Kcal)
Aliran 1		Aliran 2	
<b>Trigliserida</b>		<b>Trigliserida</b>	
Tri-Laurat	1,416	Tri-Laurat	17,428
Tri-Miristat	8,601	Tri-Miristat	106,040
Tri-Palmitat	343,633	Tri-Palmitat	4243,600
Tri-Stearat	32,800	Tri-Stearat	405,574
Tri-Oleat	258,816	Tri-Oleat	3192,843
Tri-Linoleat	68,511	Tri-Linoleat	843,053
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid</b>	
Asam-Laurat	0,038	Asam-Laurat	0,465
Asam-Miristat	0,229	Asam-Miristat	2,822
Asam-Palmitat	9,119	Asam-Palmitat	112,723
Asam-Stearat	0,869	Asam-Stearat	10,755
Asam-Oleat	6,852	Asam-Oleat	84,606
Asam-Linoleat	1,812	Asam-Linoleat	22,321
H <sub>2</sub> O	8,787	H <sub>2</sub> O	61,600
Q Supply	8802,472	Q Loss	440,124
TOTAL	9543,955	TOTAL	9543,955

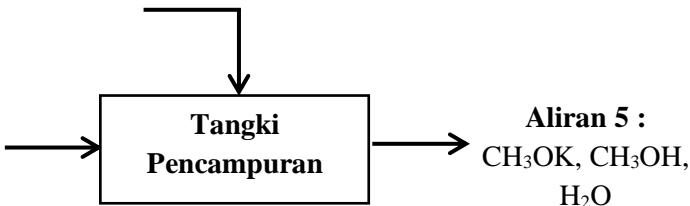


## 2. Neraca Panas Tangki Pencampuran

Aliran 4 :



Aliran 3 :



Entalpi bahan masuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot (T - T_{\text{ref}})$$

T masuk	28°C	T keluar	60°C
T ref	25°C	T ref	25°C
$\Delta T$	3°C	$\Delta T$	35°C

**Tabel VI.11** Perhitungan Entalpi Bahan Masuk

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	$\Delta H$ (Kcal)
Aliran 3 Kalium Hidroksida	3,533	3,533	28	3	3,473
Aliran 4 Methanol	79,180	0,610	28	3	144,899
Total	82,713				148,373

**Tabel VI.12** Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 2)

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Methoksida	4,416	0,426	60	35	65,780
Methanol	77,161	0,610	60	35	1647,390
Water	1,136	0,999	60	35	39,689
Total	82,713				1752,860





- **Menghitung Enthalpi Reaksi Kalium Metoksida**  
Berdasarkan Hougen hal 305 dan hal 306 diperoleh rumus :

$$\begin{aligned}\Delta H_{f25} &= \sum \Delta H_{f\text{Produk}} - \sum \Delta H_{f\text{Reaktan}} \\ \Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\ T_{\text{ref}} &= 25^\circ\text{C}\end{aligned}$$

### $\Delta H_f$ Kalium Metoksida

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Hidroksida	0,06309	-101,78	-6,421228
Methanol	0,06309	-57,04	-3,598613
Kalium Methoksida	0,06309	227,347	14,343160
Water	0,06309	-68,3174	-4,310096
Total			0,013224

### $\Delta H_R$ Kalium Metoksida

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Hidroksida	3,533	0,328	35	40,523038
Methanol	2,019	0,610	35	43,074336
Total				83,597374

### $\Delta H_p$ Kalium Metoksida

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Methoksida	4,416	0,426	35	65,780411
Water	1,136	0,9986	35	39,689293
Total				105,469704



$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \sum H_P + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\ &= 105,469704 + 0,013224 - 83,597374 \\ &= 21,885554 \text{ Kcal}\end{aligned}$$

**Tabel VI.13** Neraca Panas Pembuatan Kalium Methoksida

Komponen Masuk	$\Delta H$ (Kcal)	Komponen Masuk	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Hidroksida	3,473	Kalium Methoksida	65,780
Methanol	144,899	Methanol	1647,390
Q supply	1711,971	Water	39,689
		Q loss	85,599
		H reaksi	21,886
Total	1860,344		1860,344

### 3. Neraca Panas Reaktor Transesterifikasi

**Aliran 5 :**

$\text{CH}_3\text{OK}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  
 $\text{H}_2\text{O}$

**Aliran 2 :**  
Trigliserida, FFA

**TRANSESTERIFIKASI**

**Aliran 6 :**

Methyl Ester,  
Trigliserida sisa,  
FFA sisa,  $\text{H}_2\text{O}$

**Aliran 7 :**

$\text{CH}_3\text{OK}$  sisa,  $\text{CH}_3\text{OH}$  sisa,  
Gliserol,  $\text{H}_2\text{O}$

Entalpi bahan masuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot (T - T_{\text{ref}})$$

T masuk	60	T keluar	60
T ref	25	T ref	25
$\Delta T$	35	$\Delta T$	35

**Tabel VI.14** Pehitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 2)

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	ΔH (Kcal)
<b>Trigliserida</b>					
Tri-Laurat	0,683	0,729	60	35	17,428
Tri-Miristat	4,096	0,740	60	35	106,040
Tri-Palmitat	162,141	0,748	60	35	4243,600
Tri-Stearat	15,361	0,754	60	35	405,574
Tri-Oleat	124,934	0,730	60	35	3192,843
Tri-Linoleat	34,135	0,706	60	35	843,053
<b>FFA</b>					
Asam-Laurat	0,018	0,747	60	35	0,465
Asam-Miristat	0,107	0,756	60	35	2,822
Asam-Palmitat	4,223	0,763	60	35	112,723
Asam-Stearat	0,400	0,768	60	35	10,755
Asam-Oleat	3,254	0,743	60	35	84,606
Asam-Linoleat	0,889	0,717	60	35	22,321
Total	350,240				9042,231

**Tabel VI.15** Perhitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 5)

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	ΔH (Kcal)
Kalium Methoksida	4,416	0,426	60	35	65,780
Methanol	77,161	0,610	60	35	1647,390
Water	1,136	1,000	60	35	39,746
Total	82,713				1752,917

**Tabel VI.16** Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 6)

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	$\Delta H$ (Kcal)
<b>Trigliserida</b>					
Tri-Laurat	0,068	0,729	60	35	1,743
Tri-Miristat	0,410	0,740	60	35	10,604
Tri-Palmitat	16,214	0,748	60	35	424,360
Tri-Stearat	1,536	0,754	60	35	40,557
Tri-Oleat	12,493	0,730	60	35	319,284
Tri-Linoleat	3,413	0,706	60	35	84,305
<b>FFA</b>					
Asam-Laurat	0,018	0,747	60	35	0,465
Asam-Miristat	0,107	0,756	60	35	2,822
Asam-Palmitat	4,223	0,763	60	35	112,723
Asam-Stearat	0,400	0,768	60	35	10,755
Asam-Oleat	3,254	0,743	60	35	84,606
Asam-Linoleat	0,889	0,717	60	35	22,321
<b>Methyl Ester</b>					
Methyl Laurat	0,618	0,752	60	35	16,267
Methyl Miristat	3,707	0,759	60	35	98,524
Methyl Palmitat	146,651	0,765	60	35	3928,739
Methyl Stearat	13,887	0,770	60	35	374,411
Methyl Oleat	87,849	0,764	60	35	2950,487
Methyl Linoleat	30,861	0,722	60	35	779,910
Total	308,673				8148,338

**Tabel VI.17** Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 7)

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	ΔH (Kcal)
Kalium Methoksida	4,416	0,426	60	35	65,780
Methanol	0,545	0,610	60	35	11,641
Water	1,136	1,000	60	35	39,746
Gliserol	33,565	0,576	60	35	676,752
Total	39,662				10056,805

➤ **Menghitung Entalpi Reaksi Methyl Ester**

Berdasarkan Hougen hal 305 dan hal 306 diperoleh rumus :

$$\Delta H_{f25} = \sum \Delta H_{f\text{Produk}} - \sum \Delta H_{f\text{Reaktan}}$$

$$\Delta H_r = \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

• **Tri-Laurat**

**ΔH<sub>f</sub> Tri-Laurat**

Komponen	Mol	ΔH <sub>f</sub> (kcal/mol)	ΔH (kcal)
Tri Laurat	0,001070	11245	12,032801
Methanol	0,002889	-57,04	-0,164797
Metil Laurat	0,002889	3825	11,051023
Gliserol	0,000963	396,27	0,381629
Total			23,300656

**ΔH<sub>R</sub> Tri-Laurat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	ΔT	ΔH (kcal)
Tri Laurat	0,614427	0,729	35	15,684999
Methanol	0,202241	0,610	35	4,315013
Total				20,000012

 **$\Delta H_p$  Tri-Laurat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Laurat	0,618279	0,752	35	16,267453
Gliserol	0,088601	0,576	35	1,786405
Total				18,053858

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\ &= 18,053858 + 23,300656 - 20,000012 \\ &= 21,354502 \text{ Kcal}\end{aligned}$$

**• Tri-Miristat** **$\Delta H_f$  Tri-Miristat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Miristat	0,005106	12931	66,026252
Methanol	0,015318	-57,04	-0,873746
Metil Miristat	0,015318	4387	67,200642
Gliserol	0,005106	396,27	2,023372
Total			134,376519

 **$\Delta H_R$  Tri-Miristat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Miristat	3,686564	0,740	35	95,436247
Methanol	1,072269	0,610	35	22,877935
Total				118,314182

 **$\Delta H_p$  Tri-Miristat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Miristat	3,706988	0,759	35	98,524382
Gliserol	0,469756	0,576	35	9,471412
Total				107,995794



$$\begin{aligned}
 \Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\
 &= 107,995794 + 134,376519 - 118,314182 \\
 &= 124,058131 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

• **Tri-Palmitat**

**$\Delta H_f$  Tri-Palmitat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Palmitat	0,181050	14617	2646,411027
Methanol	0,543151	-57,04	-30,981313
Metil Palmitat	0,543151	4949	2688,052577
Gliserol	0,181050	396,27	71,744770
Total			5375,227061

**$\Delta H_R$  Tri-Palmitat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Plamitat	145,926475	0,748	35	3819,239851
Methanol	38,020546	0,610	35	811,206362
Total				4630,446213

**$\Delta H_p$  Tri-Palmitat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Palmitat	146,650676	0,765	35	3928,739023
Gliserol	16,656620	0,576	35	335,837559
Total				4264,576582

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\
 &= 4264,576582 + 5375,227061 - 4630,446213 \\
 &= 5009,357430 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$



- **Tri-Stearat**

 **$\Delta H_f$  Tri-Stearat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Stearat	0,015533	16303	253,238958
Methanol	0,046600	-57,04	-2,658054
Metil Stearat	0,046600	5511	256,811611
Gliserol	0,015533	396,27	6,155370
Total			513,547886

 **$\Delta H_R$  Tri-Stearat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Stearat	13,824613	0,754	35	365,016395
Methanol	3,261987	0,610	35	69,597764
Total				434,614159

 **$\Delta H_p$  Tri-Stearat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Stearat	13,886747	0,770	35	374,410918
Gliserol	1,429061	0,576	35	28,813313
Total				403,224232

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\ &= 403,224232 + 513,547886 - 434,614159 \\ &= 482,157979 \text{ Kcal}\end{aligned}$$





- **Tri-Oleat**

 **$\Delta H_f$  Tri-Oleat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Oleat	0,127195	15709	1998,102866
Methanol	0,381584	-57,04	-21,765571
Metil Oleat	0,381584	5377	2051,779065
Gliserol	0,127195	396,27	50,403477
Total			4078,519837

 **$\Delta H_R$  Tri-Oleat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Oleat	112,440189	0,730	35	2873,559128
Methanol	26,710905	0,610	35	569,903863
Total				3443,462990

 **$\Delta H_P$  Tri-Oleat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Oleat	112,948968	0,746	35	2950,486533
Gliserol	11,701920	0,576	35	235,938882
Total				3186,425415

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\
 &= 3186,425415 + 4078,519837 - 3443,462990 \\
 &= 3821,482262 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$



- **Tri-Linoleat**

 **$\Delta H_f$  Tri-Linoleat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Linoleat	0,034990	15115	528,876315
Methanol	0,104970	-57,04	-5,987517
Metil Linoleat	0,104970	5243	550,360275
Gliserol	0,034990	396,27	13,865552
Total			1087,114626

 **$\Delta H_R$  Tri-Linoleat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Linoleat	30,721363	0,706	35	758,747691
Methanol	7,347934	0,610	35	156,775525
Total				915,523216

 **$\Delta H_P$  Tri-Linoleat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Linoleat	30,861324	0,722	35	779,909741
Gliserol	3,219095	0,576	35	64,904705
Total				844,814446

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\ &= 844,814446 + 1087,114626 - 915,523216 \\ &= 1016,405856 \text{ Kcal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_r \text{ Total} &= 21,354502 + 124,058131 + 5009,357430 + \\ &\quad 482,157979 + 3821,482262 + 1016,405856 \\ &= 10474,816142 \text{ Kcal}\end{aligned}$$

**Tabel VI.18** Neraca Panas pada Proses Transesterifikasi

<b>Komponen Masuk</b>	<b><math>\Delta H</math> (Kcal)</b>	<b>Komponen keluar</b>	<b><math>\Delta H</math> (Kcal)</b>
<b>Aliran 2</b>		<b>Aliran 6</b>	
<b>Trigliserida</b>		<b>Trigliserida sisa</b>	
Tri-Laurat	17,428	Tri-Laurat	1,743
Tri-Miristat	106,040	Tri-Miristat	10,604
Tri-Palmitat	4243,600	Tri-Palmitat	424,360
Tri-Stearat	405,574	Tri-Stearat	40,557
Tri-Oleat	3192,843	Tri-Oleat	319,284
Tri-Linoleat	843,053	Tri-Linoleat	84,305
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid sisa</b>	
Asam-Laurat	0,465	Asam-Laurat	0,465
Asam-Miristat	2,822	Asam-Miristat	2,822
Asam-Palmitat	112,723	Asam-Palmitat	112,723
Asam-Stearat	10,755	Asam-Stearat	10,755
Asam-Oleat	84,606	Asam-Oleat	84,606
Asam-Linoleat	22,321	Asam-Linoleat	22,321
<b>Aliran 5</b>		<b>Metil Ester</b>	
CH <sub>3</sub> OK	65,780	Metil-Laurat	16,267
Methanol	1647,390	Metil-Miristat	98,524
Water	39,746	Metil-Palmitat	3928,739
Q supply	10248,919	Metil-Stearat	374,411
		Metil-Oleat	2950,487
		Metil-Linoleat	779,910
		<b>Aliran 7</b>	
		CH <sub>3</sub> OK	65,780
		Methanol sisa	11,641
		H <sub>2</sub> O	39,746
		Gliserol	676,752
		Q loss	512,446
		H reaksi	10474,816
<b>TOTAL</b>	<b>21044,067</b>	<b>TOTAL</b>	<b>21044,067</b>



#### 4. Neraca Panas pada Pemanasan Air Pencucian



Entalpi bahan masuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot (T - T_{\text{ref}})$$

T masuk	28	T keluar	80
T ref	25	T ref	25
$\Delta T$	3	$\Delta T$	55

**Tabel VI.19** Perhitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 8)

Komponen	Massa (kg)	Cp	T - T <sub>Ref</sub> (°C)	$\Delta H$ (kcal)
Water	432,953	0,9987	3	1297,169048
TOTAL	432,953			1297,169048

**Tabel VI.20** Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 9)

Komponen	Massa (kg)	Cp	T - T <sub>Ref</sub> (°C)	$\Delta H$ (kcal)
Water	432,953	1,0029	55	23881,44459
TOTAL	432,953			23881,44459

**Tabel VI.21** Neraca Panas pada Pemanasan Air Pencucian

Komponen Masuk	$\Delta H$ (Kcal)	Komponen keluar	$\Delta H$ (Kcal)
Water	1297,169	Water	23881,4445
Q supply	23772,922	Q loss	1188,646
TOTAL	25070,091		25070,091



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB VII ANALISIS KEUANGAN

Estimasi biaya produksi biodiesel dari minyak goreng bekas dengan kapasitas produksi sebesar 10 liter perhari.

### 7.1 Investasi Alat (*Fixed Cost*)

**Tabel 7.1 Biaya *Fixed Cost* Selama 1 Tahun**

No.	Keterangan	Kapasitas	Kuantitas	Harga Per Unit (Rp)	Total Biaya (Rp)
1.	Reaktor	15L	1	14.000.000	14.000.000
2.	Tangki Penyimpanan Biodiesel	15L	1	6.500.000	6.500.000
<b>TOTAL</b>					<b>20.500.000</b>
<b>TOTAL/Bulan</b>					<b>1.708.333</b>
No.	Keterangan	Kuantitas	Harga	Total Biaya (Rp)	
1.	Air	1,5 m <sup>3</sup>	6.000	9.000	
2.	Listrik	80 kWh	1.114	89.120	
<b>TOTAL</b>				<b>98.120</b>	
No.	Keterangan	Kuantitas	Harga	Total Biaya/Bulan (Rp)	
1.	Gaji Karyawan	4	3.000.000	12.000.000	
2.	Sewa Bangunan	1	14.000.000	1.166.667	
<b>TOTAL</b>				<b>13.166.667</b>	

Total *Fixed Cost* per Bulan      = 1.708.333 + 98.120 +  
13.166.667  
= Rp. 14.973.120,-



## 7.2 Variable Cost

**Tabel 7.2 Variable Cost Bahan Baku**

No.	Keterangan	Kuantitas (1 liter)	Harga Per Unit (Rp)	Total Biaya (1 liter)
1.	Minyak Goreng Bekas	1 L	3.000/L	3.000
2.	Methanol	0,25 L	8.000/L	2.000
3.	KOH	0,003533 Kg	84500/Kg	298
<b>TOTAL</b>				<b>5.298</b>

## 7.3 Analisa Biaya

Total biaya produksi dalam 1 hari = Rp. 5.298  
 Biaya produksi perbulan = Rp. 5.298 x 260  
 = Rp. 1.377.620,-

Total produksi biodiesel dari minyak goreng bekas perhari adalah 10 liter.

Total produksi perbulan = 10 liter x 26  
 = 260 liter

Total biaya produksi perbulan = Fixed Cost (FC) + Variabel Cost (VC)  
 = Rp. 14.973.120 + Rp.  
 1.377.620  
 = Rp. 16.350.740,-

Harga pokok produksi =  $\frac{\text{Total biaya produksi}}{\text{Total produksi}}$

Harga pokok produksi =  $\frac{\text{Rp.16.350.740,-}}{260 \text{ unit}} = \text{Rp.62.887,-}$

Harga Jual =  $\frac{\text{HPP}}{1 - \% \text{Mark up}}$   
 =  $\frac{62.887}{(1 - 0,2)} = \text{Rp.78.609,-}$



$$\begin{aligned}\text{Laba} &= \text{Harga jual} - \text{HPP} \\ &= 78.609 - 62.887 \\ &= \text{Rp. } 15.721,-\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Hasil Penjualan per Bulan} \\ \text{Hasil Penjualan/Bulan} &= \text{Harga jual} \times \text{Jumlah} \\ \text{produk/bulan} &= 78.609 \times 260 \\ &= \text{Rp. } 20.438.425,-\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Laba per Bulan} \\ \text{Laba/Bulan} &= \text{Laba} \times \text{Jumlah produk/bulan} \\ &= 15.721 \times 260 \\ &= \text{Rp. } 4.087.685,-\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BEP liter} &= \frac{\text{FC}}{\text{P} - \text{VC}} \\ \text{BEP liter} &= \frac{\text{Rp. } 14.973.120,-}{(\text{Rp. } 78.609/\text{liter} - \text{Rp. } 5.298/\text{liter})} \\ \text{BEP liter} &= 204 \text{ liter}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BEP (dalam rupiah)} &= \frac{\text{Biaya tetap}}{1 - \frac{\text{Biaya variabel}}{\text{Penjualan bersih}}} \\ \text{BEP (dalam rupiah)} &= \frac{\text{Rp. } 14.973.120}{1 - \frac{\text{Rp. } 5.298}{\text{Rp. } 78.609}} \\ \text{BEP (dalam rupiah)} &= \text{Rp. } 16.055.302,-\end{aligned}$$

Break even point (BEP) adalah titik impas dimana posisi jumlah pendapatan dan biaya sama atau seimbang sehingga tidak terdapat keuntungan ataupun kerugian dalam suatu perusahaan. BEP ini digunakan untuk menganalisa proyeksi sejauh mana banyaknya jumlah unit yang diproduksi atau

---

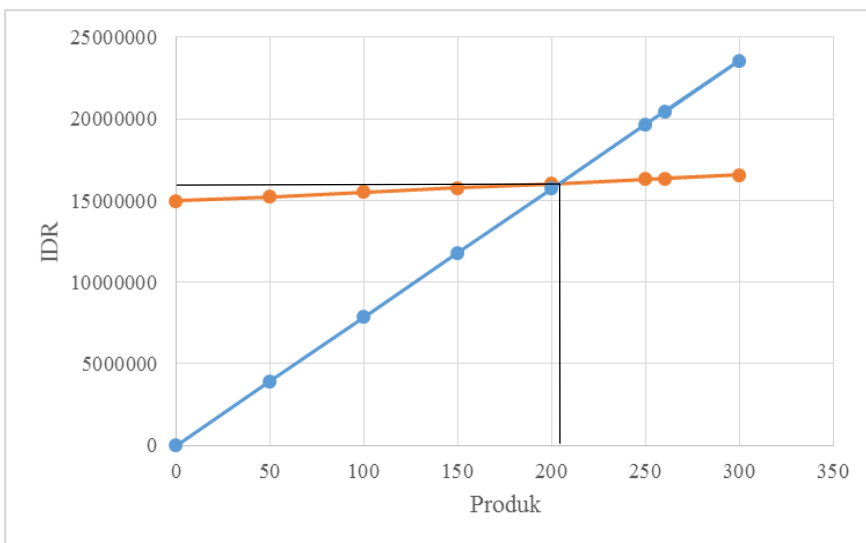




sebanyak apa uang yang harus diterima untuk mendapatkan titik impas atau kembali modal. Berikut adalah tabel perhitungan biaya penjualan untuk memperoleh BEP :

**Tabel 7.3 Perhitungan Total Biaya**

<b>Biodiesel (ltr)</b>	<b>Penghasilan Total (Rupiah)</b>	<b>Fixed cost (Rupiah)</b>	<b>Variabel Cost (Rupiah)</b>	<b>Total Biaya (Rupiah)</b>
0	0	14973120	0	14973120
50	3930466,349	14973120	264926,925	15238046,93
100	7860932,697	14973120	529853,85	15502973,85
150	11791399,05	14973120	794780,775	15767900,78
200	15721865,39	14973120	1059707,7	16032827,7
250	19652331,74	14973120	1324634,625	16297754,63
300	23582798,09	14973120	1589561,55	16562681,55
260	20438425,01	14973120	1377620,01	16350740,01



Jadi dilihat dari grafik diatas, titik kembali modal atau titik impas perusahaan diperoleh pada volume penjualan 204 liter. Apabila perusahaan telah mencapai angka penjualan tersebut, maka dapat diartikan bahwa perusahaan telah mencapai titik dimana perusahaan tidak mengalami kerugian atau memperoleh keuntungan.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB VIII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **8.1 Kesimpulan**

1. Pembuatan biodiesel dengan proses transesterifikasi dapat dilakukan dengan cara mereaksikan trigliserida dalam minyak jelantah dengan methanol dan menambahkan katalis KOH untuk mempercepat reaksi.
2. Pada proses transesterifikasi semakin banyak penambahan katalis KOH (0,5%; 1%; 1,5%, dan 2%), meningkatkan hasil yield. Hasil yield paling tinggi didapatkan pada penambahan katalis 1% dan kecepatan putar 1000 rpm dengan hasil yield sebesar 94,91%.
3. Hasil analisa biodiesel pada masing-masing variabel sudah sesuai dengan SNI 04-7182-2006 akan tetapi pada uji viscositas belum semua memenuhi standart dari SNI 04-7182-2006. Dari semua variabel didapatkan hasil terbaik pada uji densitas sebesar  $870 \text{ kg/m}^3$ ; viscositas  $4,29 \text{ mm}^2/\text{s}$ ; *flash point*  $149^\circ\text{C}$ , *cloud point*  $11^\circ\text{C}$ , dan angka asam  $0,1122 \text{ mg KOH/g}$ . Pada proses pembuatan biodiesel ini didapatkan kualitas biodiesel yang paling baik pada penambahan katalis KOH 1% dan kecepatan putar 1000 rpm. Didapatkan hasil analisa yaitu pada uji densitas sebesar  $890 \text{ kg/m}^3$ ; viscositas  $2,80 \text{ mm}^2/\text{s}$ ; *flash point*  $148^\circ\text{C}$ , *cloud point*  $13^\circ\text{C}$ , dan angka asam  $0,561 \text{ mg KOH/g}$ . Ditinjau dari biodiesel yang dihasilkan serta hasil analisa yang dilakukan.

#### **8.2 Saran**

1. Pengujian angka FFA pada minyak jelantah sebaiknya di uji pada awal penentuan sampel dan dilakukan secara akurat agar bisa menentukan proses pembuatan biodiesel yang tepat.



*BAB VIII Kesimpulan dan Saran*

---

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Cp	<i>Heat Capacity</i>	Kcal/Kg <sup>0</sup> C
Massa	Berat	Kg
T	Suhu	<sup>0</sup> C
Tref	Suhu referen	<sup>0</sup> C
ΔH	<i>Enthalpy</i>	Kcal
Q	Kalor	Kcal
BM	Berat Molekul	g/mol
V	Volume	Lt
ρ	Densitas	gram/ml
μ	Viskositas	mm <sup>2</sup> /s

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, R. (2008). Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Metil Asetat Sebagai Pensuplai Gugus Metil .
- Ambarita, M. (2002). Transesterifikasi minyak goreng bekas untuk produksi metil ester (Tesis). *Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor*.
- Aziz, I. (2011). Esterifikasi Asam Lemak Bebas Dari Minyak Goreng Bekas. *Valensi Vol. 2 No. 2, Mei 2011 (384-388)*.
- Darmawan, F. I. (2013). Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Metode Pencucian Dry-Wash Sistem. *JTM. Volume 02 Nomor 01 Tahun 2013, 80 - 87*.
- Darmawan, F. I. (2013). Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Metode Pencucian Dry-Wash Sistem. *JTM. Volume 02 Nomor 01, 80 - 87*.
- Domahy, L. (2016, Desember 19). *Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif untuk Mengatasi Masalah Energi Nasional*. Diambil kembali dari <https://domahyld73.wordpress.com/2007/11/19/biodiesel-sebagai-bahan-bakar-alternatif-untuk-mengatasi-masalah-energi-nasional/>
- Faizal, M. (2013). Pengaruh Kadar Methanol, Jumlah Katalis, dan Waktu Reaksi pada Pembuatan Biodiesel dari Lemak Sapi Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia No. 4, Vol. 19, Desember 2013, 35*.
- Fangrui, M. (1999). Biodiesel production : a review. 70: pp.1-15.
- Hasanatan, D. (2012). Pengaruh Ratio H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan Waktu Reaksi Terhadap Kuantitas dan Kualitas Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar. *Jurnal Teknik Kima No.2, Vol. 18, 29*.
- Hikmah, N. (2010). Pembuatan metil ester (biodiesel) dari minyak dedak dan metanol dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang*.

- Indah, T. (2011). Katalis Basa Heterogen Campuran CaO & SrO Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*.
- Komariah, L. N. (2013). Efek Pemanasan Campuran Biodiesel Dan Minyak Solar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Boiler. *Jurnal Teknik Kimia No. 4, Vol. 19, Desember 2013*, 53.
- kompasiana. (2017, januari 18). *Melirik Potensi Minyak Jelantah Sebagai Energi Biodiesel Masa Depan*. Diambil kembali dari kompasiana beyond blogging: [http://www.kompasiana.com/takutpada-allah-/melirik-potensi-minyak-jelantah-sebagai-energi-biodiesel-masa-depan\\_55299c5cf17e61aa0dd6241b](http://www.kompasiana.com/takutpada-allah-/melirik-potensi-minyak-jelantah-sebagai-energi-biodiesel-masa-depan_55299c5cf17e61aa0dd6241b)
- Lestari, D. Y. (2011). Kajian Tentang Deaktivasi Katalis . *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 14 Mei 2011* .
- LMFUI. (2016). Analisis Industri Minyak dan Gas di Indonesia. *Masukan bagi Pengelola BUMN*, 1.
- Mahreni. (2010). Produksi Biodisel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Asam padat (Nafion/SiO<sub>2</sub>). *Volume X, Nomor 2, Desember 2010*.
- Misbachudin. (2017). Pengaruh Persentase Biodiesel Minyak Nyamplung -Solar Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 8, No. 1 Tahun 2017:9-14*, 11.
- Mudge, S. (1999). Stimulating the biodegradation of crude oil with biodiesel preliminary results. *Spill. Sci. Technol. Bull.*, 5, 353-5.
- Perdana, R. G. (2014). Ketergantungan Indonesia Terhadap Minyak Olahan Produksi Singapura.
- Prasetyo, A. E. (2012). Potensi Gliserol Dalam Pembuatan Turunan Gliserol Melalui Proses Esterifikasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan* , 10(1:26-31).



- Ramdja, F. (2010). Pemurnian Minyak Jelantah Menggunakan Ampas Tebu Sebagai Adsorben. *Jurnal Teknik Kimia*, No. 1, Vol. 17, Januari 2010.
- Riyanti, F. (2012). Pengaruh Variasi Konsentrasi Katalis KOH pada Pembuatan Metil Ester dari Minyak Biji Ketapang (*Terminalia catappa* Linn). *Jurnal Penelitian Sains Volume 15 Nomor 2(C) April 2012*.
- Santoso, H. (2013). *Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Kulit Telur*. Prahayangan: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat.
- Sartika, A. (2015). Esterifikasi Minyak Goreng Bekas Dengan Katalis  $H_2SO_4$  Dan Transesterifikasi Dengan Katalis CaO Dari Cangkang Kerang Darah: Variasi Kondisi Esterifikasi. *JOM FMIPA Volume 2 No.1 Februari 2015*.
- Sinaga, S. V. (2014). Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol.3, No. 1: 27- 34*.
- Speidel, H. (2000). Biodegradability of new engineered fuels compared to conventional petroleum fuels and alternative fuels in current use. *Appl Biochem Biotechnol*, 84-86, 879-97.
- Triana, K. (2006). Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel dari Minyak Jarak; Pengaruh Suhu dan Konsentrasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Berbasis Katalis Basa. *Bioteknologi 3 (1): 20-26, Mei 2006, ISSN: 0216-6887, DOI: 10.13057/biotek/c030104*.
- Wijaya, K. (2011, Desember 21). *Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas*. Retrieved Desember 19, 2016, from Pusat Studi Energi Universitas Gajah Mada: <http://pse.ugm.ac.id/?p=338>

## APPENDIKS A NERACA MASSA

Neraca massa yang dihitung adalah dari variabel pembuatan biodiesel yang melalui proses esterifikasi 1 jam kemudia dilanjutkan dengan proses transesterifikasi selama 1 jam. Percobaan :

Volume Minyak Jelantah	= 400 Lt
Densitas percobaan	= 0,88 gr/ml
Massa Minyak Jelantah	= 352 Kg
Satuan	= Kg

### Komposisi Minyak Jelantah (Percobaan)

Komponen	Fraksi Berat	Massa (kg)
Trigliserida	0,97	341,35
FFA	0,025	8,89
H <sub>2</sub> O	0,005	1,76
TOTAL	1	352

### Komponen Triglicerida dalam Minyak Jelantah (*Bailey, 1996*)

Komponen	BM	Rumus Molekul	Fraksi Berat
Tri Laurat gliserida	638	C <sub>39</sub> H <sub>74</sub> O <sub>6</sub>	0,002
Tri palmitat gliserida	806	C <sub>51</sub> H <sub>98</sub> O <sub>6</sub>	0,475
Tri miristat gliserida	722	C <sub>45</sub> H <sub>86</sub> O <sub>6</sub>	0,012
Tri stearat gliserida	890	C <sub>57</sub> H <sub>110</sub> O <sub>6</sub>	0,045
Tri oleat gliserida	884	C <sub>57</sub> H <sub>104</sub> O <sub>6</sub>	0,366
Tri linoleat gliserida	878	C <sub>57</sub> H <sub>98</sub> O <sub>6</sub>	0,1
Total			1

**Komponen *Free Fatty Acid* dalam Minyak Jelantah***(Bailey, 1996)*

Komponen	BM	Rumus Molekul	Fraksi Berat
Asam Laurat	200	$C_{12}H_{24}O_2$	0,002
Asam Miristat	228	$C_{16}H_{32}O_2$	0,475
Asam Palmitat	256	$C_{14}H_{28}O_2$	0,012
Asam Stearat	284	$C_{18}H_{36}O_2$	0,045
Asam Oleat	282	$C_{18}H_{34}O_2$	0,366
Asam Linoleat	280	$C_{18}H_{32}O_2$	0,1
Total			1

**Komponen Metil Ester dalam Biodiesel**

Komponen	BM	Rumus Molekul
Laurat Metyl Ester	214	$C_{11}H_{23}COOCH_3$
Miristat Metyl Ester	270	$C_{15}H_{31}COOCH_3$
Palmitat Metyl Ester	242	$C_{13}H_{27}COOCH_3$
Stearat Metyl Ester	298	$C_{17}H_{35}COOCH_3$
Oleat Metyl Ester	296	$C_{17}H_{33}COOCH_3$
Linoleat Metyl Ester	294	$C_{17}H_{31}COOCH_3$

Dari data tersebut, dapat dihitung massa komponen Trigliserida, *Free Fatty Acid*, dan *Water* pada bahan Minyak Jelantah adalah sebagai berikut :

## a. Trigliserida

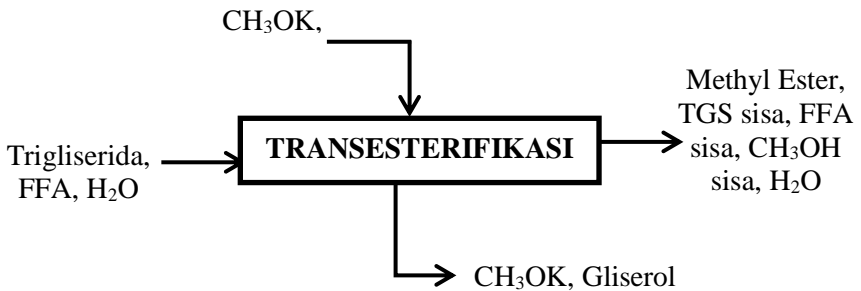
1. Tri-Laurat = Massa Trigliserida  $\times$  Fraksi  
 $= 341,35 \times 0,002$   
 $= 0,683 \text{ kg/hari}$
2. Tri-Miristat = Massa Trigliserida  $\times$  Fraksi  
 $= 341,35 \times 0,012$   
 $= 4,096 \text{ kg/hari}$

3. Tri-Palmitat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 341,35 \times 0,475$   
 $= 162,141 \text{ kg/hari}$
  4. Tri-Stearat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 341,35 \times 0,045$   
 $= 15,361 \text{ kg/hari}$
  5. Tri-Oleat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 341,35 \times 0,366$   
 $= 124,934 \text{ kg/hari}$
  6. Tri-Linoleat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 341,35 \times 0,1$   
 $= 34,135 \text{ kg/hari}$
- b. *Free Fatty Acid*
1. Asam-Laurat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 8,89 \times 0,002$   
 $= 0,018 \text{ kg/hari}$
  2. Asam-Miristat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 8,89 \times 0,012$   
 $= 0,107 \text{ kg/hari}$
  3. Asam-Palmitat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 8,89 \times 0,475$   
 $= 4,223 \text{ kg/hari}$
  4. Asam-Stearat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 8,89 \times 0,045$   
 $= 0,400 \text{ kg/hari}$
  5. Asam-Oleat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 8,89 \times 0,366$   
 $= 3,254 \text{ kg/hari}$
  6. Asam-Linoleat  $= \text{Massa Triglicerida} \times \text{Fraksi}$   
 $= 8,89 \times 0,1$   
 $= 0,889 \text{ kg/hari}$

c. Water

$$\begin{aligned}\text{Massa Water} &= \text{Massa Water} \times \text{Fraksi} \\ &= 1,76 \times 1 \\ &= 1,76 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

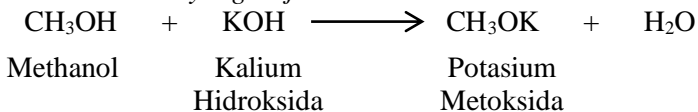
### 1) Transesterifikasi



Fungsi : untuk mereaksikan Trigliserida (TGS) dan methanol dengan penambahan katalis basa  $\text{CH}_3\text{OK}$  untuk menghasilkan methyl ester dan Gliserol.

Pada proses Transesterifikasi terlebih dahulu dibuat larutan Potasium Metoksida dengan mencampurkan Methanol dan KOH. Methanol yang digunakan sebesar 6 kali volume dari massa minyak yang masuk, dan KOH yang digunakan sebesar 1% berat dari massa minyak.

*Persamaan reaksi yang terjadi :*



## Appendix A – Perhitungan Neraca Massa

$$\begin{aligned}\text{Volume CH}_3\text{OH masuk} &= 0,25 \times 400 \text{ liter} \\ &= 100 \text{ liter} \\ &= 100.000 \text{ ml}\end{aligned}$$

$$\text{Densitas Methanol} = 0,7918 \text{ gr/ml}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Methanol masuk} &= 100.000 \text{ ml} \times 0,7918 \text{ gr/ml} \\ &= 79.180 \text{ gr} \\ &= 79,18 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa KOH masuk} &= 1\% \times 352 \text{ kg} \\ &= 3,533 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{BM CH}_3\text{OH} = 32$$

$$\text{BM KOH} = 56$$

$$\text{BM CH}_3\text{OK} = 70$$

$$\text{BM H}_2\text{O} = 18$$

$$\begin{aligned}\text{Mol KOH} &= \frac{\text{Massa KOH masuk (kg)}}{\text{BM KOH}} \\ &= \frac{3,533}{56} \\ &= 0,063 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa CH}_3\text{OH terbentuk} &= 0,063 \times 32 \\ &= 2,019 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa CH}_3\text{OK} &= 0,063 \times 70 \\ &= 4,416 \text{ kg}\end{aligned}$$

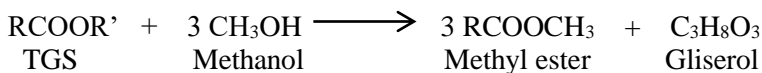
$$\begin{aligned}\text{Massa H}_2\text{O} &= 0,063 \times 18 \\ &= 1,136 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sisa CH}_3\text{OH} &= \text{CH}_3\text{OH masuk} - \text{CH}_3\text{OH terbentuk} \\ &= 79,18 - 2,019 \\ &= 77,161 \text{ kg}\end{aligned}$$

**Neraca Massa Pembuatan Potasium Metoksida**

Komponen masuk	Massa masuk (kg)	Komponen keluar	Massa masuk (kg)
CH <sub>3</sub> OH	79,180	CH <sub>3</sub> OK	4,416
KOH	3,533	CH <sub>3</sub> OH sisa	77,161
		H <sub>2</sub> O	1,136
	82,713		82,713

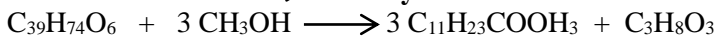
Potasium metoksida kemudian direaksikan dengan Minyak Jelantah dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



- Reaksi terhadap TGS :**

Massa Konversi = 90%

**a. Trilaurat  $\longrightarrow$  Methyl laurat**



➤ BM Trilaurat = 638

➤ BM Methyl Laurat = 214

➤ BM Gliserol = 92

Massa Trilaurat mula-mula = 0,683 kg

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Trilaurat mula-mula} &= \frac{\text{Massa Trilaurat}}{\text{BM Trilaurat}} \\
 &= \frac{0,683}{638} \\
 &= 0,001070 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Trilaurat bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{mol mula-mula} \\
 &= 0,90 \times 0,001070 \\
 &= 0,000963 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

## Appendix A – Perhitungan Neraca Massa

$$\begin{aligned}\text{Mol Trilaurat sisa} &= (\text{Mol mula-mula}) - (\text{Mol Reaksi}) \\ &= 0,001070 - 0,000963 \\ &= 0,000107 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Trilaurat sisa} &= \text{Mol Trilaurat sisa} \times \text{BM Trilaurat} \\ &= 0,000107 \times 638 \\ &= 0,068 \text{ kg}\end{aligned}$$

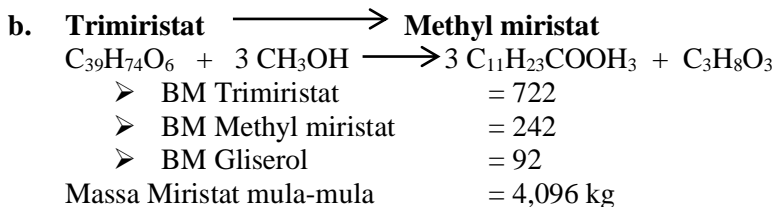
$$\begin{aligned}\text{CH}_3\text{OH yang dibutuhkan} &= 3 \times \text{mol Trilaurat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,000963 \\ &= 0,002889 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Methyl Laurat yang terbentuk} &= 3 \times \text{mol Trilaurat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,000963 \\ &= 0,002889 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Methyl Laurat yang terbentuk} &= \text{Mol Methyl Laurat} \times \text{BM Methyl Laurat} \\ &= 0,002889 \times 214 \\ &= 0,618 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Gliserol yang dihasilkan} &= 1 \times \text{Mol Trilaurat bereaksi} \\ &= 1 \times 0,000963 \\ &= 0,000963 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Gliserol yang dihasilkan} &= \text{Mol Gliserol} \times \text{BM Gliserol} \\ &= 0,000963 \times 92 \\ &= 0,089 \text{ kg}\end{aligned}$$





$$\begin{aligned}\text{Mol Trimiristat mula-mula} &= \frac{\text{Massa Trimiristat}}{\text{BM Trimiristat}} \\ &= \frac{4,096}{722} \\ &= 0,005673 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Trimiristat bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{mol mula-mula} \\ &= 0,90 \times 0,005673 \\ &= 0,005106 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Trimiristat sisa} &= (\text{Mol mula-mula}) - (\text{Mol Reaksi}) \\ &= 0,005673 - 0,005106 \\ &= 0,000567 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Trimiristat sisa} &= \text{Mol Trimiristat sisa} \times \text{BM} \\ &\quad \text{Trimiristat} \\ &= 0,000567 \times 722 \\ &= 0,410 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CH}_3\text{OH yang dibutuhkan} &= 3 \times \text{mol Trimiristat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,005106 \\ &= 0,015318 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Methyl Miristat yang terbentuk} &= 3 \times \text{mol Trimiristat yang} \\ &\quad \text{bereaksi} \\ &= 3 \times 0,005106 \\ &= 0,015318 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Methyl Miristat yang terbentuk} &= \text{Mol Methyl Miristat} \times \\ &\quad \text{BM Methyl Miristat} \\ &= 0,015318 \times 242 \\ &= 3,707 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Gliserol yang dihasilkan} &= 1 \times \text{Mol Trimiristat bereaksi} \\ &= 1 \times 0,005106 \\ &= 0,005106 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Gliserol yang dihasilkan} &= \text{Mol Gliserol} \times \text{BM Gliserol} \\ &= 0,005106 \times 92 \\ &= 0,47 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. **Tripalmitat**  $\longrightarrow$  **Methyl palmitat**

$$\text{C}_{39}\text{H}_{74}\text{O}_6 + 3 \text{CH}_3\text{OH} \longrightarrow 3 \text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}_3 + \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$$

- BM Tripalmitat = 806
- BM Methyl palmitat = 270
- BM Gliserol = 92

$$\begin{aligned}\text{Massa Palmitat mula-mula} &= 162,141 \text{ kg} \\ \text{Mol Tripalmitat mula-mula} &= \frac{\text{Massa Tripalmitat}}{\text{BM Tripalmitat}} \\ &= \frac{162,141}{806} \\ &= 0,201167 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Tripalmitat bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{mol mula-mula} \\ &= 0,90 \times 0,201167 \\ &= 0,181050 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Tripalmitat sisa} &= (\text{Mol mula-mula}) - (\text{Mol Reaksi}) \\ &= 0,201167 - 0,181050 \\ &= 0,020117 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Tripalmitat sisa} &= \text{Mol Tripalmitat sisa} \times \text{BM Tripalmitat} \\ &= 0,020117 \times 806 \\ &= 16,214 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CH}_3\text{OH yang dibutuhkan} &= 3 \times \text{mol Tripalmitat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,181050 \\ &= 0,543151 \text{ kmol}\end{aligned}$$

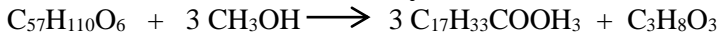
$$\begin{aligned}\text{Mol Methyl Palmitat yang terbentuk} &= 3 \times \text{mol Tripalmitat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,181050 \\ &= 0,543151 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Methyl Palmitat yang terbentuk} &= \text{Mol Methyl Palmitat} \times \text{BM Methyl Palmitat} \\ &= 0,181050 \times 270 \\ &= 146,651 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Gliserol yang dihasilkan} &= 1 \times \text{Mol Tripalmitat bereaksi} \\ &= 1 \times 0,181050 \\ &= 0,181050 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Gliserol yang dihasilkan} &= \text{Mol Gliserol} \times \text{BM Gliserol} \\ &= 0,181050 \times 92 \\ &= 16,657 \text{ kg}\end{aligned}$$

**d. Tristearat  $\longrightarrow$  Methyl stearat**



$$\text{➤ BM Tristearat} = 890$$

$$\text{➤ BM Methyl stearat} = 298$$

$$\text{➤ BM Gliserol} = 92$$

$$\text{Massa Tristearat mula-mula} = 15,361 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Tristearat mula-mula} &= \frac{\text{Massa Tristearat}}{\text{BM Tristearat}} \\ &= \frac{15,361}{890} \\ &= 0,017259 \text{ kmol}\end{aligned}$$

## Appendix A – Perhitungan Neraca Massa

$$\begin{aligned}\text{Mol Tristearat bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{mol mula-mula} \\ &= 0,90 \times 0,017259 \\ &= 0,015533 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Tristearat sisa} &= (\text{Mol mula-mula}) - (\text{Mol Reaksi}) \\ &= 0,017259 - 0,015533 \\ &= 0,001726 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Tristearat sisa} &= \text{Mol Tristearat sisa} \times \text{BM Tristearat} \\ &= 0,001726 \times 890 \\ &= 1,536 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CH}_3\text{OH yang dibutuhkan} &= 3 \times \text{mol Tristearat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,015533 \text{ kmol} \\ &= 0,046599 \text{ kmol}\end{aligned}$$

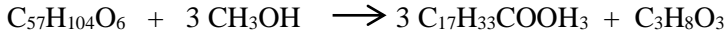
$$\begin{aligned}\text{Mol Methyl Stearat yang terbentuk} &= 3 \times \text{mol Tristearat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,015533 \\ &= 0,046599 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Methyl Stearat yang terbentuk} &= \text{Mol Methyl Stearat} \times \text{BM Methyl Stearat} \\ &= 0,046599 \times 298 \\ &= 13,887 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Gliserol yang dihasilkan} &= 1 \times \text{Mol Tristearat bereaksi} \\ &= 1 \times 0,015533 \\ &= 0,015533 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Gliserol yang dihasilkan} &= \text{Mol Gliserol} \times \text{BM Gliserol} \\ &= 0,015533 \times 92 \\ &= 1,429 \text{ kg}\end{aligned}$$

e. Trioleat  $\longrightarrow$  Methyl Oleat



$$\text{➤ BM Trioleat} = 884$$

$$\text{➤ BM Methyl oleat} = 296$$

$$\text{➤ BM Gliserol} = 92$$

$$\text{Massa Trioleat mula-mula} = 124,934 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Trioleat mula-mula} &= \frac{\text{Massa Trioleat}}{\text{BM Trioleat}} \\ &= \frac{124,934}{884} \\ &= 0,141328 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Trioleat bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{mol mula-mula} \\ &= 0,90 \times 0,141328 \\ &= 0,127195 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Trioleat sisa} &= (\text{Mol mula-mula}) - (\text{Mol Reaksi}) \\ &= 0,141328 - 0,127195 \\ &= 0,014133 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Trioleat sisa} &= \text{Mol Trioleat sisa} \times \text{BM Trioleat} \\ &= 0,014133 \times 884 \\ &= 12,493 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{OH yang dibutuhkan} &= 3 \times \text{mol Trioleat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,127195 \\ &= 0,38158 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Methyl Oleat yang terbentuk} &= 3 \times \text{mol Trioleat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,127195 \\ &= 0,38158 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Methyl Oleat yang terbentuk} &= \text{Mol Methyl Oleat} \times \text{BM Methyl Oleat} \\
 &= 0,38158 \times 296 \\
 &= 112,949 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Gliserol yang dihasilkan} &= 1 \times \text{Mol Trioleat bereaksi} \\
 &= 1 \times 0,127195 \\
 &= 0,127195 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Gliserol yang dihasilkan} &= \text{Mol Gliserol} \times \text{BM Gliserol} \\
 &= 0,127195 \times 92 \\
 &= 11,702 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

**f. Trilinoleat  $\longrightarrow$  Methyl linoleat**

$$\text{C}_{57}\text{H}_{98}\text{O}_6 + 3 \text{CH}_3\text{OH} \longrightarrow 3 \text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}_3 + \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$$

- BM Trilinoleat = 878
- BM Methyl linoleat = 294
- BM Gliserol = 92

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Trilinoleat mula-mula} &= 34,135 \text{ kg} \\
 \text{Mol Trilinoleat mula-mula} &= \frac{\text{Massa Trilinoleat}}{\text{BM Trilinoleat}} \\
 &= \frac{34,135}{878} \\
 &= 0,038878 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Trilinoleat bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{mol mula-mula} \\
 &= 0,90 \times 0,038878 \\
 &= 0,034990 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Trilinoleat sisa} &= (\text{Mol mula-mula}) - (\text{Mol Reaksi}) \\
 &= 0,038878 - 0,034990 \\
 &= 0,003888 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Trilinoleat sisa} &= \text{Mol Trilinoleat sisa} \times \text{BM} \\ &\quad \text{Trilinoleat} \\ &= 0,003888 \times 878 \\ &= 3,413 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CH}_3\text{OH yang dibutuhkan} &= 3 \times \text{mol Trilinoleat yang bereaksi} \\ &= 3 \times 0,034990 \\ &= 0,10497 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Methyl linoleat yang terbentuk} &= 3 \times \text{mol Trilinoleat yang} \\ &\quad \text{bereaksi} \\ &= 3 \times 0,034990 \\ &= 0,10497 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Methyl linoleat yang terbentuk} &= \text{Mol Methyl linoleat} \times \\ &\quad \text{BM Methyl linoleat} \\ &= 0,10497 \times 294 \\ &= 30,861 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Gliserol yang dihasilkan} &= 1 \times \text{Mol Trilinoleat bereaksi} \\ &= 1 \times 0,034990 \\ &= 0,034990 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Gliserol yang dihasilkan} &= \text{Mol Gliserol} \times \text{BM Gliserol} \\ &= 0,034990 \times 92 \\ &= 3,219 \text{ kg}\end{aligned}$$

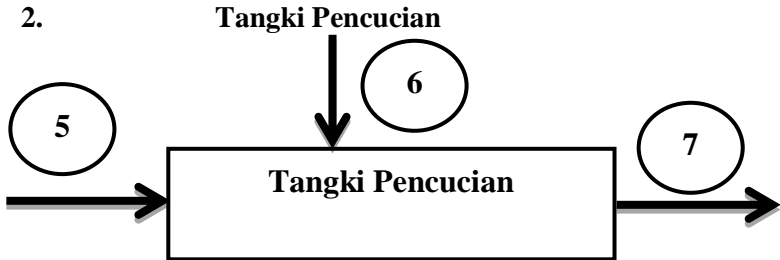
#### Neraca Massa Reaktor Transesterifikasi

Bahan Masuk	Massa (kg)	Bahan Keluar	Massa (kg)
<b>Aliran 4</b>		<b>Aliran 5</b>	
<b>Trigliserida</b>		<b>Trigliserida</b>	
Tri-Laurat	0,683	Tri-Laurat	0,205
Tri-Miristat	4,096	Tri-Miristat	1,229

# Appendix A – Perhitungan Neraca Massa

Tri-Palmitat	162,141	Tri-Palmitat	48,642
Tri-Stearat	15,361	Tri-Stearat	4,608
Tri-Oleat	124,934	Tri-Oleat	37,480
Tri-Linoleat	34,135	Tri-Linoleat	10,240
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid</b>	
Asam-Laurat	0,018	Asam-Laurat	0,018
Asam-Miristat	0,107	Asam-Miristat	0,107
Asam-Palmitat	4,223	Asam-Palmitat	4,223
Asam-Stearat	0,400	Asam-Stearat	0,400
Asam-Oleat	3,254	Asam-Oleat	3,254
Asam-Linoleat	0,889	Asam-Linoleat	0,889
<b>Others</b>		<b>Metil Ester</b>	
Water	1,760	Metil-Laurat	0,481
<b>Methanol</b>		Metil-Miristat	2,883
Methanol	0,000	Metil-Palmitat	114,062
Water	0,000	Metil-Stearat	10,801
<b>Aliran 3</b>		Metil-Oleat	87,849
kalium Methoksida	4,416	Metil-Linoleat	24,003
Methanol	77,161	<b>Others</b>	
Water	1,136	Water	0,000
		<b>kalium Methoksida</b>	
		kalium Methoksida	4,416
		<b>Methanol</b>	
		Methanol	17,571
		Water	1,136
		<b>Gliserol</b>	
		Gliserol	26,106
<b>TOTAL</b>	<b>432,953</b>	<b>TOTAL</b>	<b>432,953</b>





Fungsi : Untuk memisahkan hasil metil ester dengan air dan metanol sisa.

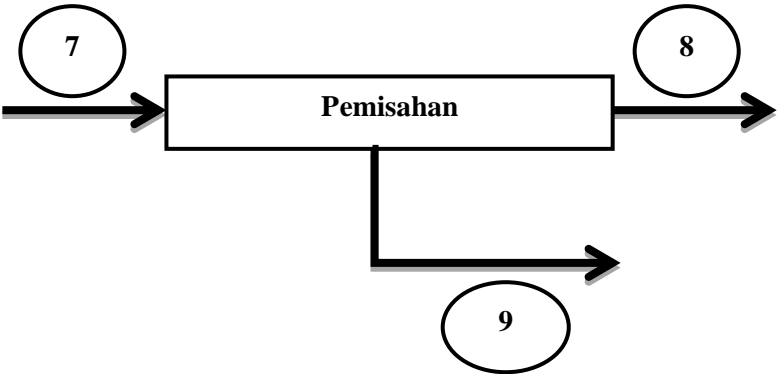
### Neraca Massa Tangki Pencucian

Bahan Masuk	Massa (kg)	Bahan Keluar	Massa (kg)
<b>Aliran 5</b>		<b>Aliran 7</b>	
<b>Trigliserida</b>		<b>Trigliserida Sisa</b>	
Tri-Laurat	0,205	Tri-Laurat	0,205
Tri-Miristat	1,229	Tri-Miristat	1,229
Tri-Palmitat	48,642	Tri-Palmitat	48,642
Tri-Stearat	4,608	Tri-Stearat	4,608
Tri-Oleat	37,480	Tri-Oleat	37,480
Tri-Linoleat	10,240	Tri-Linoleat	10,240
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid</b>	
Asam-Laurat	0,018	Asam-Laurat	0,018
Asam-Miristat	0,107	Asam-Miristat	0,107
Asam-Palmitat	4,223	Asam-Palmitat	4,223
Asam-Stearat	0,400	Asam-Stearat	0,400
Asam-Oleat	3,254	Asam-Oleat	3,254
Asam-Linoleat	0,889	Asam-Linoleat	0,889
<b>Metil Ester</b>		<b>Metil Ester</b>	
Metil-Laurat	0,481	Metil-Laurat	0,481
Metil-Miristat	2,883	Metil-Miristat	2,883

# Appendix A – Perhitungan Neraca Massa

Metil-Palmitat	114,062	Metil-Palmitat	114,062
Metil-Stearat	10,801	Metil-Stearat	10,801
Metil-Oleat	87,849	Metil-Oleat	87,849
Metil-Linoleat	24,003	Metil-Linoleat	24,003
<b>Others</b>		<b>Others</b>	
Water	0,000	Kalium	4,416
<b>kalium</b>		Methoksida	
<b>Methoksida</b>		Methanol	17,571
kalium	4,416	Water	434,089
Methoksida		Gliserol	26,106
<b>Methanol</b>			
Methanol	17,571		
Water	1,136		
<b>Gliserol</b>			
Gliserol	26,106		
<b>Aliran 6</b>			
Water	432,953		
<b>TOTAL</b>	<b>833,557</b>	<b>TOTAL</b>	<b>833,557</b>

## 3. Pemisahan (H-I)



Fungsi : Untuk memisahkan hasil pencucian yang terdiri dari dua lapisan. Lapisan atas terdiri dari metil ester sedangkan lapisan bawah adalah metanol sisa, Kalium methoksida sisa, gliserol dan air.

**Neraca Massa Pemisahan**

<b>Bahan Keluar</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Bahan Keluar</b>	<b>Massa (kg)</b>
<b>Aliran 7</b>		<b>Aliran 8</b>	
<b>Trigliserida Sisa</b>		<b>Trigliserida Sisa</b>	
Tri-Laurat	0,205	Tri-Laurat	0,205
Tri-Miristat	1,229	Tri-Miristat	1,229
Tri-Palmitat	48,642	Tri-Palmitat	48,642
Tri-Stearat	4,608	Tri-Stearat	4,608
Tri-Oleat	37,480	Tri-Oleat	37,480
Tri-Linoleat	10,240	Tri-Linoleat	10,240
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid</b>	
Asam-Laurat	0,018	Asam-Laurat	0,018
Asam-Miristat	0,107	Asam-Miristat	0,107
Asam-Palmitat	4,223	Asam-Palmitat	4,223
Asam-Stearat	0,400	Asam-Stearat	0,400
Asam-Oleat	3,254	Asam-Oleat	3,254
Asam-Linoleat	0,889	Asam-Linoleat	0,889
<b>Metil Ester</b>		<b>Metil Ester</b>	
Metil-Laurat	0,481	Metil-Laurat	0,481
Metil-Miristat	2,883	Metil-Miristat	2,883
Metil-Palmitat	114,062	Metil-Palmitat	114,062
Metil-Stearat	10,801	Metil-Stearat	10,801
Metil-Oleat	87,849	Metil-Oleat	87,849
Metil-Linoleat	24,003	Metil-Linoleat	24,003
<b>Others</b>		<b>Others</b>	
Kalium	4,416	Water	21,704
Methoksida		<b>Aliran 9</b>	
Methanol	17,571		

## Appendix A – Perhitungan Neraca Massa

Water	434,089	Kalium Methoksida	4,416
Gliserol	26,106	Methanol	17,571
		Water	412,384
		Gliserol	26,106
TOTAL	833,557	TOTAL	833,557

## APPENDIKS B NERACA PANAS

Perhitungan neraca panas dimulai dari proses *pre-treatment* bahan baku, hingga proses transesterifikasi.

Percobaan :

Volume Minyak Jelantah	= 10 Lt
Densitas percobaan	= 0,88 gr/ml
Massa Minyak Jelantah	= 352 Kg
Suhu <i>Reference</i>	= 25°C
Satuan	= Kcal

### Komposisi dari Minyak Jelantah

Komponen Minyak Jelantah	Fraksi berat	Massa (Kg)
Trigliserida	0,97	341,348
H <sub>2</sub> O	0,005	1,760
FFA	0,025	8,892
Total	1	352,000

Dari perhitungan neraca massa diperoleh data berat molekul tiap komponen dan massa tiap komponen sebagai berikut :

### Komponen TGS dan FFA

Komponen	BM FFA	BM Trigliserida	Fraksi Berat	Massa FFA	Massa Trigliserida
Laurat	200	638	0,002	0,018	0,683
Palmitat	256	806	0,475	4,223	162,141
Stearat	284	890	0,045	0,400	15,361
Linoleat	280	878	0,10	0,889	34,135
Miristat	228	722	0,012	0,107	4,096
Oleat	282	884	0,366	3,524	124,934
<b>Total</b>			1	8,892	341,348

### Komponen Metil Ester dalam Biodiesel

Komponen	BM	Rumus Molekul
Laurat Metyl Ester	214	$C_{11}H_{23}COOCH_3$
Palmitat Metyl Ester	270	$C_{15}H_{31}COOCH_3$
Miristat Metyl Ester	242	$C_{13}H_{27}COOCH_3$
Stearat Metyl Ester	298	$C_{17}H_{35}COOCH_3$
Oleat Metyl Ester	296	$C_{17}H_{33}COOCH_3$
Linoleat Metyl Ester	294	$C_{17}H_{31}COOCH_3$

### Berat molekul pada komponen lain

Komponen	Rumus	BM
Asam Sulfat	$H_2SO_4$	98
Methanol	$CH_3OH$	32
Kalium Hidroksida	$KOH$	56,0983
Kalium Metoksida	$KOCH_3$	70,0983
Gliserol	$C_3H_8O_3$	92
Water	$H_2O$	18

### Menentukan Heat Capacity (cp) :

Dari tabel 8.2 Coulson & Richardson's "*Chemical Engineering*" volume 6, 4<sup>th</sup> edition diperoleh data untuk perhitungan *heat capacity* (cp) komponen– komponen yang terkandung di dalam Minyak Jelantah

#### *Heat Capacities of The Elements, J/mol°C*

Komponen	Solids	Liquids
C	7,5	11,7
H	9,6	18
B	11,3	19,7
St	15,9	24,3
O	16,7	25,1
Komponen	Solids	Liquids

F	20,9	29,3
P dan S	22,6	31,0
All others	26,0	33,5

$$\begin{aligned}
 1 \text{ J/mol}^{\circ}\text{C} &= 1 \text{ kJ/kmol}^{\circ}\text{C} \\
 1 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} &= 0,24 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} \\
 1 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} &= 4,1868 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}
 \end{aligned}$$

Heat Capacity tiap komponen dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_p = C_p (\text{kepala rantai}) + C_p (\text{kepala rantai}) + C_p (\text{tubuh rantai})$$

$$C_p(\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{Heat Capacity}(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}^{\circ}\text{C}})}{\text{BM}(\frac{\text{kg}}{\text{kmol}})}$$

➤ Menghitung  $C_p$  Asam Laurat pada Minyak Jelantah :

$$\begin{aligned}
 C_p &= 12(11,7) + 24(18) + 2(25,1) \\
 &= 622,600 \text{ kJ/kmol}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_p(\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}) &= \frac{622,600 \text{ kJ/kmol}^{\circ}\text{C}}{200} \\
 &= 3,113 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_p (\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}) &= 3,113 \times 0,24 \\
 &= 0,747 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung *heat capacity* pada komponen lain dapat menggunakan perhitungan seperti diatas.

**Perhitungan Cp pada Trigliserida Minyak Jelantah:**

Komponen	Rumus	kJ/kmol°C	kJ/kg°C	Kcal/kg°C
Tri Laurat gliserida	$C_{39}H_{74}O_6$	1938,900	3,039	0,729
Tri palmitat gliserida	$C_{51}H_{98}O_6$	2511,300	3,116	0,748
Tri miristat gliserida	$C_{57}H_{110}O_6$	2797,500	3,143	0,754
Tri stearat gliserida	$C_{57}H_{98}O_6$	2581,500	2,940	0,706
Tri oleat gliserida	$C_{45}H_{86}O_6$	2225,100	3,082	0,74
Tri linoleat gliserida	$C_{57}H_{104}O_6$	2689,500	3,042	0,730

**Perhitungan Cp pada FFA Minyak Jelantah:**

Komponen	Rumus	kJ/kmol°C	kJ/kg°C	Kcal/kg°C
Asam Laurat	$C_{12}H_{24}O_2$	622,6	3,113	0,747
Asam Miristat	$C_{16}H_{32}O_2$	813,4	3,1773	0,763
Asam Palmitat	$C_{18}H_{26}O_2$	908,8	3,2000	0,768
Asam Stearat	$C_{18}H_{32}O_2$	836,8	2,9886	0,71
Asam Oleat	$C_{14}H_{28}O_2$	718	3,1491	0,756
Asam Linoleat	$C_{18}H_{34}O_2$	872	3,095	0,743

**Perhitungan Cp pada *Methyl Ester* Biodiesel :**

Komponen	Rumus	kJ/kmol°C	kJ/kg°C	Kcal/Kg°C
Laurat Metil Ester	$C_{13}H_{26}O_2$	670,300	3,132	0,752
Palmitat Metil Ester	$C_{17}H_{34}O_2$	861,100	3,189	0,765
Stearat Metil Ester	$C_{19}H_{38}O_2$	956,500	3,210	0,770
Linoleat Metil Ester	$C_{19}H_{34}O_2$	884,500	3,009	0,722
Miristat metil ester	$C_{15}H_{30}O_2$	765,700	3,164	0,759
Oleat metil ester	$C_{19}H_{36}O_2$	920,500	3,110	0,746



***Heat Capacity (Cp) pada Komponen lain:***

Komponen	Rumus	kJ/kmol°C	kJ/kg°C	Kcal/kg°C
Cp KOH	KOH	76,600	1,365	0,328
Cp KOCH <sub>3</sub>	KOCH <sub>3</sub>	124,300	1,773	0,426

**Tabel Data *Heat Capacities* Air**

T (°C)	Kcal/Kg°C
0	1.0080
10	1.0019
20	0.9995
25	0.9989
30	0.9987
40	0.9987
50	0.9992
60	1.0001
70	1.0013
80	1.0029
90	1.0050
100	1.0076

(Geankoplis A.2-5)

***Heat Capacity pada Komponen Lain :***

Cp Gliserol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>) = 2,412 kJ/kg°C  
 = 0,576 kcal/kg°C (Geankoplis A.3-11)

Cp Methanol (CH<sub>3</sub>OH), pada T 40°C = 2,583 kJ/kg°C  
 (Perry, edisi 6) = 0,6199 kcal/kg°C  
 pada T 70°C = 2,69 kJ/kg°C  
 = 0,646 kcal/kg°C

Cp Asam Sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 1,403 kJ/kg°C  
 = 0,335 kcal/kg°C (Geankoplis A.3-11)

$$\begin{aligned}\text{Cp Uap Air, pada } T \text{ } 100^{\circ}\text{C} &= 1,888 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K} \\ &= 0,4509 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} \text{ (Geankoplis A.2-12)}\end{aligned}$$

### Menentukan $\Delta H_f$ Komponen :

$\Delta H_f$  berdasarkan struktur ikatan kimia :

Dari tabel 7-6, hal.284 Maron, "*Fundamental of Physical Chemistry*" diperoleh data untuk menentukan  $\Delta H_f$  komponen–komponen yang terkandung di dalam Minyak Jelantah :

Ikatan	$\Delta H_f$ (kcal/mol)
H – H	104
C = C	147
C – C	83
C – H	99
C – O	84
O – H	111
C = O	170

$\Delta H_f$  komponen lain :

Sumber : Hougen, "*Chemical Process Principles*"

Bahan	$\Delta H_f$ (kcal/mol)
KOH	-101,78
H <sub>2</sub> O	-68,3174
CH <sub>3</sub> OH	-57,04
Gliserin	396,27

**Perhitungan  $\Delta H_f$  pada Trigliserida Minyak Jelantah :**

<b>Komponen</b>	<b>C – C</b>	<b>C – H</b>	<b>C – O</b>	<b>C = O</b>	<b><math>\Delta H_f</math> (kcal/mol)</b>
Trilaurat Gliserida	35	74	6	3	11245
Tripalmitat Gliserida	47	98	6	3	14617
Tristearat Gliserida	53	110	6	3	16303
Trilinoleat Gliserida	53	98	6	3	15115
Trimiristat Gliserida	41	86	6	3	12931
Trioleat Gliserida	53	104	6	3	15709

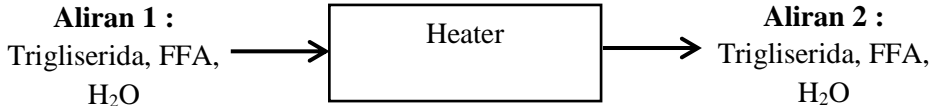
**Perhitungan  $\Delta H_f$  pada FFA Minyak Jelantah :**

<b>Komponen</b>	<b>C – C</b>	<b>C – H</b>	<b>C – O</b>	<b>C = O</b>	<b><math>\Delta H_f</math> (kcal/mol)</b>
Asam Laurat	0	11	1	1	3555
Asam Palmitat	0	15	1	1	4679
Asam Stearat	0	17	1	1	5241
Asam Linoleat	2	15	1	1	5072
Asam Miristat	0	13	1	1	4117
Asam Oleat	1	16	1	1	5305

**Perhitungan  $\Delta H_f$  pada Methyl Ester Minyak Jelantah :**

Komponen	$\text{C} = \text{C}$	$\text{C} - \text{C}$	$\text{C} - \text{H}$	$\text{C} - \text{O}$	$\text{C} = \text{O}$	$\Delta H_f$ (kcal/mol)
Methyl Laurat	0	11	26	1	1	3825
Methyl Palmitat	0	15	34	1	1	4949
Methyl Stearat	0	17	38	1	1	5511
Methyl Linoleat	2	15	34	1	1	5243
Methyl Miristat	0	13	30	1	1	4387
Methyl Oleat	1	16	36	1	1	5377

**1. Neraca Panas pada Proses *Pre-Treatment* Minyak Jelantah**



Entalpi bahan masuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot (T - T_{ref})$$

T masuk	30°C	T keluar	60°C
T ref	25°C	T ref	25°C
$\Delta T$	5°C	$\Delta T$	35°C

➤ **Perhitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 1)**

• **FFA**

- Asam Laurat

$$\begin{aligned}\Delta H &= 0,018 \times 0,425 \times (30-25) \\ &= 0,038 \text{ Kcal}\end{aligned}$$

- Asam Palmitat  
 $\Delta H = 4,223 \times 0,432 \times (30-25)$   
 $= 9,119 \text{ Kcal}$
- Asam Stearat  
 $\Delta H = 0,400 \times 0,434 \times (30-25)$   
 $= 0,869 \text{ Kcal}$
- Asam Linoleat  
 $\Delta H = 0,889 \times 0,408 \times (30-25)$   
 $= 1,812 \text{ Kcal}$
- Asam Miristat  
 $\Delta H = 0,107 \times 0,429 \times (30-25)$   
 $= 0,229 \text{ Kcal}$
- Asam Oleat  
 $\Delta H = 3,254 \times 0,421 \times (30-25)$   
 $= 6,852 \text{ Kcal}$
- **Trigliserida**
- Tri-Laurat  
 $\Delta H = 0,683 \times 0,415 \times (30-25)$   
 $= 1,416 \text{ Kcal}$
- Tri-Palmitat  
 $\Delta H = 162,141 \times 0,424 \times (30-25)$   
 $= 343,633 \text{ Kcal}$
- Tri-Stearat  
 $\Delta H = 15,361 \times 0,427 \times (30-25)$   
 $= 32,800 \text{ Kcal}$

- Tri-Linoleat  
 $\Delta H = 34,135 \times 0,401 \times (30-25)$   
 $= 68,511 \text{ Kcal}$
- Tri-Miristat  
 $\Delta H = 4,096 \times 0,420 \times (30-25)$   
 $= 8,601 \text{ Kcal}$
- Tri-Oleat  
 $\Delta H = 124,934 \times 0,414 \times (30-25)$   
 $= 258,816 \text{ Kcal}$
- $H_2O$   
 $\Delta H = 1,760 \times 0,999 \times (30-25)$   
 $= 8,787 \text{ Kcal}$

➤ **Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 2)**

• **FFA**

- Asam Laurat  
 $\Delta H = 0,018 \times 0,425 \times (60-25)$   
 $= 0,465 \text{ Kcal}$
- Asam Palmitat  
 $\Delta H = 4,223 \times 0,432 \times (60-25)$   
 $= 112,723 \text{ Kcal}$
- Asam Stearat  
 $\Delta H = 0,400 \times 0,434 \times (60-25)$   
 $= 10,755 \text{ Kcal}$
- Asam Linoleat  
 $\Delta H = 0,889 \times 0,408 \times (60-25)$   
 $= 22,321 \text{ Kcal}$

- Asam Miristat  
 $\Delta H = 0,107 \times 0,429 \times (60-25)$   
 $= 2,822 \text{ Kcal}$
- Asam Oleat  
 $\Delta H = 3,254 \times 0,421 \times (60-25)$   
 $= 84,606 \text{ Kcal}$
- **Trigliserida**
- Tri-Laurat  
 $\Delta H = 0,683 \times 0,415 \times (60-25)$   
 $= 17,428 \text{ Kcal}$
- Tri-Palmitat  
 $\Delta H = 162,141 \times 0,424 \times (60-25)$   
 $= 4243,600 \text{ Kcal}$
- Tri-Stearat  
 $\Delta H = 15,361 \times 0,427 \times (60-25)$   
 $= 405,574 \text{ Kcal}$
- Tri-Linoleat  
 $\Delta H = 34,135 \times 0,401 \times (60-25)$   
 $= 843,053 \text{ Kcal}$
- Tri-Miristat  
 $\Delta H = 4,096 \times 0,420 \times (60-25)$   
 $= 106,040 \text{ Kcal}$
- Tri-Oleat  
 $\Delta H = 124,934 \times 0,414 \times (60-25)$   
 $= 3192,843 \text{ Kcal}$

$$\begin{aligned}
 & - \text{H}_2\text{O} \\
 & \Delta H = 1,760 \times 1 \times (60-25) \\
 & = 61,600 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

➤ **Q supply :**

$$\begin{aligned}
 \text{Daya heater} &= 600 \text{ Watt} \\
 1 \text{ watt} &= 0,000239 \text{ kcal/sekon} \\
 Q \text{ supply} &= 600 \times 0,000239 \\
 &= 0,143 \text{ kcal/sekon} \\
 Q \text{ loss} &= 0,143 \times 0,05 \\
 &= 0,00717 \\
 \Delta H \text{ bahan masuk} &= 741,483 \text{ kcal} \\
 \Delta H \text{ bahan keluar} &= 9103,831 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$

➤ **Heat Balance pada proses pre-treatment :**

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{in}} + Q_{\text{supply}} &= \Delta H_{\text{out}} + Q_{\text{loss}} \\
 H_{\text{Jelantah}} + Q_{\text{supply}} &= H_{\text{Jelantah}} + Q_{\text{loss}} \\
 741,183 + 0,143 &= 9103,831 + 0,00717 \\
 Q_{\text{supply}} - Q_{\text{loss}} &= H_{\text{keluar}} - H_{\text{masuk}} \\
 0,143 - 0,007 &= 9103,831 - 741,183 \\
 0,136 \text{ kcal/sekon} &= 8362,348 \text{ kcal} \\
 t &= 61384,044 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

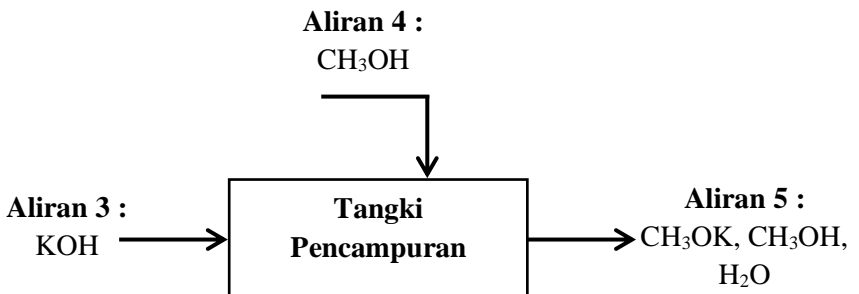
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= 0,143 \times 61384,044 \\
 &= 8802,472 \text{ kcal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 8802,472 \times 0,05 \\
 &= 440,124 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$



**Neraca Panas *Pre-Treatment* Minyak Jelantah:**

Komponen Masuk	$\Delta H$ (Kcal)	Komponen Keluar	$\Delta H$ (Kcal)
<b>Aliran 1</b>		<b>Aliran 2</b>	
<b>Trigliserida</b>		<b>Trigliserida</b>	
Tri-Laurat	1,416	Tri-Laurat	17,428
Tri-Miristat	8,601	Tri-Miristat	106,040
Tri-Palmitat	343,633	Tri-Palmitat	4243,600
Tri-Stearat	32,800	Tri-Stearat	405,574
Tri-Oleat	258,816	Tri-Oleat	3192,843
Tri-Linoleat	68,511	Tri-Linoleat	843,053
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid</b>	
Asam-Laurat	0,038	Asam-Laurat	0,465
Asam-Miristat	0,229	Asam-Miristat	2,822
Asam-Palmitat	9,119	Asam-Palmitat	112,723
Asam-Stearat	0,869	Asam-Stearat	10,755
Asam-Oleat	6,852	Asam-Oleat	84,606
Asam-Linoleat	1,812	Asam-Linoleat	22,321
H <sub>2</sub> O	8,787	H <sub>2</sub> O	61,600
Q Supply	8802,472	Q Loss	440,124
<b>TOTAL</b>	<b>9543,955</b>	<b>TOTAL</b>	<b>9543,955</b>

**2. Neraca Panas Tangki Pencampuran**



Entalpi bahan masuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot (T - T_{ref})$$

T masuk	28°C	T keluar	60°C
T ref	25°C	T ref	25°C
$\Delta T$	3°C	$\Delta T$	35°C

#### Perhitungan Entalpi Bahan Masuk

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	$\Delta H$ (Kcal)
<b>Aliran 3</b> Kalium Hidroksida	3,533	3,533	28	3	3,473
<b>Aliran 4</b> Methanol	79,180	0,610	28	3	144,899
Total	82,713				148,373

#### Perhitungan Entalpi Bahan Keluar

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Methoksida	4,416	0,426	60	35	65,780
Methanol	77,161	0,610	60	35	1647,390
Water	1,136	0,999	60	35	39,689
Total	82,713				1752,860

#### ➤ Menghitung Entalpi Reaksi Kalium Metoksida

Berdasarkan Hougen hal, 311 dan hal 348, diperoleh rumus :

$$\Delta H_{f25} = \Sigma \Delta H_{f\text{Produk}} - \Sigma \Delta H_{f\text{Reaktan}}$$

$$\Delta H_r = \Sigma H_p + \Sigma \Delta H_{f25} - \Sigma H_R$$

$$T_{ref} = 25^\circ \text{C}$$

**$\Delta H_f$  Kalium Metoksida**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Hidroksida	0,06309	-101,78	-6,421228
Methanol	0,06309	-57,04	-3,598613
Kalium Methoksida	0,06309	227,347	14,343160
Water	0,06309	-68,3174	-4,310096
Total			0,013224

**$\Delta H_R$  Kalium Metoksida**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Hidroksida	3,533	0,328	35	40,523038
Methanol	2,019	0,610	35	43,074336
Total				83,597374

**$\Delta H_P$  Kalium Metoksida**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Methoksida	4,416	0,426	35	65,780411
Water	1,136	0,9986	35	39,689293
Total				105,469704

$$\begin{aligned}
 \Delta H_R &= \sum H_P + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\
 &= 105,469704 + 0,013224 - 83,597374 \\
 &= 21,885554 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

➤ **Q supply :**

$$\begin{aligned}
 \text{Daya heater} &= 600 \text{ Watt} \\
 1 \text{ watt} &= 0,000239 \text{ kcal/sekon} \\
 Q \text{ supply} &= 600 \times 0,000239
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,143 \text{ kcal/sekon} \\
 Q_{\text{loss}} &= 0,143 \times 0,05 \\
 &= 0,00717 \text{ Kcal/sekon} \\
 \Delta H_{\text{bahan masuk}} &= 148,373 \text{ Kcal} \\
 \Delta H_{\text{bahan keluar}} &= 1752,860 \text{ Kcal} \\
 \Delta H_{\text{Reaksi}} &= 21,885554 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

➤ **Heat Balance pada proses pembuatan Kalium Metoksida :**

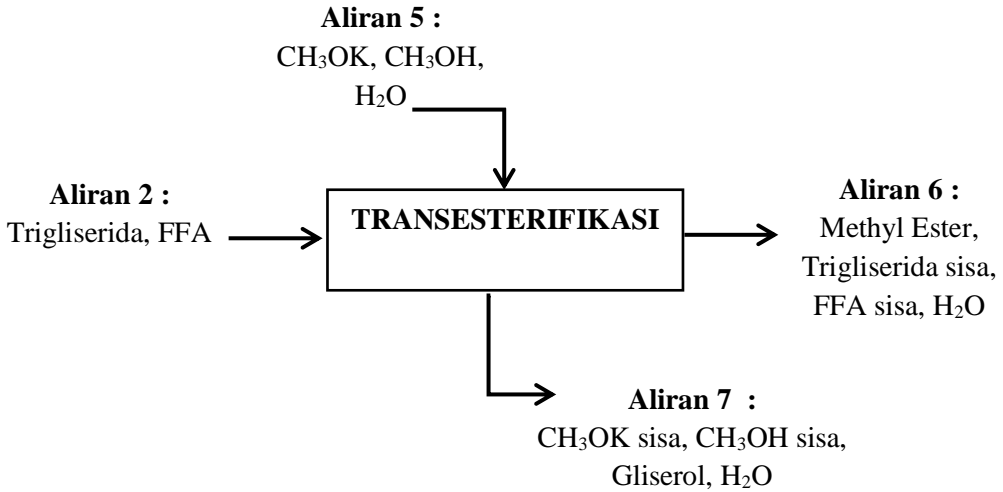
$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{in}} + Q_{\text{supply}} &= \Delta H_{\text{out}} + Q_{\text{loss}} + H_{\text{Reaksi}} \\
 H_{\text{masuk}} + Q_{\text{supply}} &= H_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}} + H_{\text{Reaksi}} \\
 148,373 + 0,143 &= 1752,860 + 0,00717 + 21,885554 \\
 Q_{\text{supply}} - Q_{\text{loss}} &= H_{\text{keluar}} - H_{\text{masuk}} + H_{\text{Reaksi}} \\
 0,143 - 0,00717 &= 1752,860 - 148,373 + 21,885554 \\
 0,136 \text{ kcal/sekon} &= 1626,373 \text{ kcal} \\
 t &= 11938,434 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= 0,143 \times 11938,434 \\
 &= 1711,971 \text{ kcal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 1711,971 \times 0,05 \\
 &= 85,599 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$

**Neraca Panas Pembuatan Kalium Methoksida**

Komponen Masuk	$\Delta H$ (Kcal)	Komponen Masuk	$\Delta H$ (Kcal)
Kalium Hidroksida	3,473	Kalium Methoksida	65,780
Methanol	144,899	Methanol	1647,390
Q supply	1711,971	Water	39,689
		Q loss	85,599
		H reaksi	21,886
Total	1860,344		1860,344

### 3. Neraca Panas Reaktor Transesterifikasi



Entalpi bahan masuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta H = m. Cp. (T - T_{ref})$$

T masuk	60	T keluar	60
T ref	25	T ref	25
ΔT	35	ΔT	35

#### Pehitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 2)

Komponen	Massa (Kg)	CP (Kcal/kg°C)	T (°C)	T-Tref	ΔH (Kcal)
<b>Trigliserida</b>					
Tri-Laurat	0,683	0,729	60	35	17,428
Tri-Miristat	4,096	0,740	60	35	106,040
Tri-Palmitat	162,141	0,748	60	35	4243,600
Tri-Stearat	15,361	0,754	60	35	405,574

Tri-Oleat	124,934	0,730	60	35	3192,843
Tri-Linoleat	34,135	0,706	60	35	843,053
<b>FFA</b>					
Asam-Laurat	0,018	0,747	60	35	0,465
Asam-Miristat	0,107	0,756	60	35	2,822
Asam-Palmitat	4,223	0,763	60	35	112,723
Asam-Stearat	0,400	0,768	60	35	10,755
Asam-Oleat	3,254	0,743	60	35	84,606
Asam-Linoleat	0,889	0,717	60	35	22,321
Total	350,240				9042,231

➤ **Perhitungan Entalpi Bahan Masuk pada Aliran 5**

- Methanol  
 $\Delta H = 77,161 \times 0,610 \times (65-25)$   
 $= 1647,390 \text{ Kcal}$
- Kalium Metoksida  
 $\Delta H = 4,416 \times 0,426 \times (65-25)$   
 $= 65,780 \text{ Kcal}$
- H<sub>2</sub>O  
 $\Delta H = 1,136 \times 1 \times (65-25)$   
 $= 39,764 \text{ Kcal}$

➤ **Perhitungan Entalpi Bahan Keluar pada Aliran 6**

- Methyl Ester
- Methyl Laurat  
 $\Delta H = 0,618 \times 0,752 \times (65-25)$   
 $= 16,267 \text{ Kcal}$
- Methyl Palmitat  
 $\Delta H = 146,651 \times 0,765 \times (65-25)$   
 $= 3928,739 \text{ Kcal}$

- Methyl Stearat  
 $\Delta H = 13,887 \times 0,770 \times (65-25)$   
 $= 374,411 \text{ Kcal}$
- Methyl Linoleat  
 $\Delta H = 30,861 \times 0,722 \times (65-25)$   
 $= 779,910 \text{ Kcal}$
- Methyl Miristat  
 $\Delta H = 3,707 \times 0,759 \times (65-25)$   
 $= 98,524 \text{ Kcal}$
- Methyl Oleat  
 $\Delta H = 112,949 \times 0,746 \times (65-25)$   
 $= 2950,487 \text{ Kcal}$
- Trigliserida
  - Tri-Laurat  
 $\Delta H = 0,068 \times 0,729 \times (65-25)$   
 $= 1,743 \text{ Kcal}$
  - Tri-Palmitat  
 $\Delta H = 16,214 \times 0,748 \times (65-25)$   
 $= 424,360 \text{ Kcal}$
  - Tri-Stearat  
 $\Delta H = 1,536 \times 0,754 \times (65-25)$   
 $= 40,557 \text{ Kcal}$
  - Tri-Linoleat  
 $\Delta H = 3,413 \times 0,706 \times (65-25)$   
 $= 84,305 \text{ Kcal}$

- Tri-Miristat  
 $\Delta H = 0,410 \times 0,740 \times (65-25)$   
 $= 10,604 \text{ Kcal}$
- Tri-Oleat  
 $\Delta H = 12,493 \times 0,730 \times (65-25)$   
 $= 319,284 \text{ Kcal}$
- **FFA**
- Asam Laurat  
 $\Delta H = 0,018 \times 0,425 \times (60-25)$   
 $= 0,465 \text{ Kcal}$
- Asam Palmitat  
 $\Delta H = 4,223 \times 0,432 \times (60-25)$   
 $= 112,723 \text{ Kcal}$
- Asam Stearat  
 $\Delta H = 0,400 \times 0,434 \times (60-25)$   
 $= 10,755 \text{ Kcal}$
- Asam Linoleat  
 $\Delta H = 0,889 \times 0,408 \times (60-25)$   
 $= 22,321 \text{ Kcal}$
- Asam Miristat  
 $\Delta H = 0,107 \times 0,429 \times (60-25)$   
 $= 2,822 \text{ Kcal}$
- Asam Oleat  
 $\Delta H = 3,254 \times 0,421 \times (60-25)$   
 $= 84,606 \text{ Kcal}$



➤ **Perhitungan Entalpi Bahan Keluar pada Aliran 7**

- Kalium Metoksida  
 $\Delta H = 4,416 \times 0,426 \times (65-25)$   
 $= 65,780 \text{ Kcal}$
- Gliserol  
 $\Delta H = 33,565 \times 0,576 \times (65-25)$   
 $= 676,752 \text{ Kcal}$
- Methanol  
 $\Delta H = 0,545 \times 0,610 \times (65-25)$   
 $= 11,641 \text{ Kcal}$
- H<sub>2</sub>O  
 $\Delta H = 1,136 \times 1 \times (65-25)$   
 $= 39,764 \text{ Kcal}$

➤ **Menghitung Entalpi Reaksi Methyl Ester**

Berdasarkan Hougen hal, 311 dan hal 348, diperoleh rumus :

$$\Delta H_{f25} = \Sigma \Delta H_{f\text{Produk}} - \Sigma \Delta H_{f\text{Reaktan}}$$

$$\Delta H_r = \Sigma H_P + \Sigma \Delta H_{f25} - \Sigma H_R$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

• **Tri-Laurat**

**$\Delta H_f$  Tri-Laurat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Laurat	0,001070	11245	12,032801
Methanol	0,002889	-57,04	-0,164797
Metil Laurat	0,002889	3825	11,051023
Gliserol	0,000963	396,27	0,381629
Total			23,300656

**$\Delta H_R$  Tri-Laurat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Laurat	0,614427	0,729	35	15,684999
Methanol	0,202241	0,610	35	4,315013
Total				20,000012

**$\Delta H_P$  Tri-Laurat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Laurat	0,618279	0,752	35	16,267453
Gliserol	0,088601	0,576	35	1,786405
Total				18,053858

$$\begin{aligned}
 \Delta H_R &= \sum H_P + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\
 &= 18,053858 + 23,300656 - 20,000012 \\
 &= 21,354502 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

• **Tri-Miristat**

**$\Delta H_f$  Tri-Miristat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Miristat	0,005106	12931	66,026252
Methanol	0,015318	-57,04	-0,873746
Metil Miristat	0,015318	4387	67,200642
Gliserol	0,005106	396,27	2,023372
Total			134,376519

**$\Delta H_R$  Tri-Miristat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Miristat	3,686564	0,740	35	95,436247
Methanol	1,072269	0,610	35	22,877935
Total				118,314182

**$\Delta H_p$  Tri-Miristat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Miristat	3,706988	0,759	35	98,524382
Gliserol	0,469756	0,576	35	9,471412
Total				107,995794

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\
 &= 107,995794 + 134,376519 - 118,314182 \\
 &= 124,058131 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

• **Tri-Palmitat**

**$\Delta H_f$  Tri-Palmitat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Palmitat	0,181050	14617	2646,411027
Methanol	0,543151	-57,04	-30,981313
Metil Palmitat	0,543151	4949	2688,052577
Gliserol	0,181050	396,27	71,744770
Total			5375,227061

**$\Delta H_R$  Tri-Palmitat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Plamitat	145,926475	0,748	35	3819,239851
Methanol	38,020546	0,610	35	811,206362
Total				4630,446213

**$\Delta H_p$  Tri-Palmitat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Palmitat	146,650676	0,765	35	3928,739023
Gliserol	16,656620	0,576	35	335,837559
Total				4264,576582

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\
 &= 4264,576582 + 5375,227061 - 4630,446213 \\
 &= 5009,357430 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

• **Tri-Stearat**

**$\Delta H_f$  Tri-Stearat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Stearat	0,015533	16303	253,238958
Methanol	0,046600	-57,04	-2,658054
Metil Stearat	0,046600	5511	256,811611
Gliserol	0,015533	396,27	6,155370
Total			513,547886

**$\Delta H_r$  Tri-Stearat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Stearat	13,824613	0,754	35	365,016395
Methanol	3,261987	0,610	35	69,597764
Total				434,614159

**$\Delta H_p$  Tri-Stearat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Stearat	13,886747	0,770	35	374,410918
Gliserol	1,429061	0,576	35	28,813313
Total				403,224232

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\ &= 403,224232 + 513,547886 - 434,614159 \\ &= 482,157979 \text{ Kcal}\end{aligned}$$

• **Tri-Oleat**

**$\Delta H_f$  Tri-Oleat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Oleat	0,127195	15709	1998,102866
Methanol	0,381584	-57,04	-21,765571
Metil Oleat	0,381584	5377	2051,779065
Gliserol	0,127195	396,27	50,403477
Total			4078,519837

**$\Delta H_R$  Tri-Oleat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Oleat	112,440189	0,730	35	2873,559128
Methanol	26,710905	0,610	35	569,903863
Total				3443,462990

**$\Delta H_P$  Tri-Oleat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Oleat	112,948968	0,746	35	2950,486533
Gliserol	11,701920	0,576	35	235,938882
Total				3186,425415

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\ &= 3186,425415 + 4078,519837 - 3443,462990 \\ &= 3821,482262 \text{ Kcal}\end{aligned}$$

• **Tri-Linoleat**

**$\Delta H_f$  Tri-Linoleat**

Komponen	Mol	$\Delta H_f$ (kcal/mol)	$\Delta H$ (kcal)
Tri Linoleat	0,034990	15115	528,876315
Methanol	0,104970	-57,04	-5,987517
Metil Linoleat	0,104970	5243	550,360275
Gliserol	0,034990	396,27	13,865552
Total			1087,114626

**$\Delta H_R$  Tri-Linoleat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Tri Linoleat	30,721363	0,706	35	758,747691
Methanol	7,347934	0,610	35	156,775525
Total				915,523216

**$\Delta H_P$  Tri-Linoleat**

Komponen	Massa (kg)	Cp	$\Delta T$	$\Delta H$ (kcal)
Metil Linoleat	30,861324	0,722	35	779,909741
Gliserol	3,219095	0,576	35	64,904705
Total				844,814446

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r &= \sum H_p + \sum \Delta H_{f25} - \sum H_R \\
 &= 844,814446 + 1087,114626 - 915,523216 \\
 &= 1016,405856 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r \text{ Total} &= 21,354502 + 124,058131 + 5009,357430 + \\
 &\quad 482,157979 + 3821,482262 + 1016,405856 \\
 &= 10474,816142 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

➤ **Q supply :**

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Reaktor} &= 340 \text{ Watt} \\
 1 \text{ watt} &= 0,000239 \text{ kcal/sekon} \\
 Q \text{ supply} &= 340 \times 0,000239 \\
 &= 0,08126 \text{ kcal/sekon}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 0,08126 \times 0,05 \\
 &= 0,004063 \text{ kcal/sekon} \\
 \Delta H_{\text{bahan masuk}} &= 10795,148 \text{ kcal} \\
 \Delta H_{\text{bahan keluar}} &= 10056,805 \text{ kcal} \\
 \Delta H_{\text{Reaksi Total}} &= 10474,816142 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

➤ **Heat Balance pada proses Transesterifikasi :**

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{in}} + Q_{\text{supply}} &= \Delta H_{\text{out}} + Q_{\text{loss}} + H_{\text{Reaksi}} \\
 H_{\text{masuk}} + Q_{\text{supply}} &= H_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}} + H_{\text{Reaksi}} \\
 10795,148 + 0,08126 &= 10056,805 + 0,004063 + 10474,816142 \\
 Q_{\text{supply}} - Q_{\text{loss}} &= H_{\text{keluar}} - H_{\text{masuk}} + H_{\text{Reaksi}} \\
 0,08126 - 0,004063 &= 10056,805 - 10795,148 + 10474,816142 \\
 0,077 \text{ kcal/sekon} &= 9736,473 \text{ kcal} \\
 t &= 126125,019 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= 0,08126 \times 126125,019 \\
 &= 10248,919 \text{ kcal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 10248,919 \times 0,05 \\
 &= 512,446 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$

**Neraca Panas pada Proses Transesterifikasi**

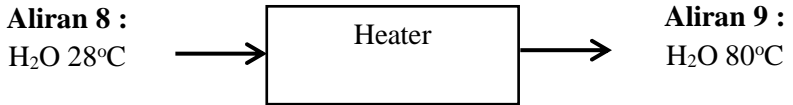
Komponen Masuk	$\Delta H$ (Kcal)	Komponen keluar	$\Delta H$ (Kcal)
<b>Aliran 2</b>		<b>Aliran 6</b>	
<b>Trigliserida</b>		<b>Trigliserida sisa</b>	
Tri-Laurat	17,428	Tri-Laurat	1,743
Tri-Miristat	106,040	Tri-Miristat	10,604
Tri-Palmitat	4243,600	Tri-Palmitat	424,360
Tri-Stearat	405,574	Tri-Stearat	40,557
Tri-Oleat	3192,843	Tri-Oleat	319,284
Tri-Linoleat	843,053	Tri-Linoleat	84,305
<b>Free Fatty Acid</b>		<b>Free Fatty Acid sisa</b>	

## Appendiks B – Perhitungan Neraca Panas

Asam-Laurat	0,465	Asam-Laurat	0,465
Asam-Miristat	2,822	Asam-Miristat	2,822
Asam-Palmitat	112,723	Asam-Palmitat	112,723
Asam-Stearat	10,755	Asam-Stearat	10,755
Asam-Oleat	84,606	Asam-Oleat	84,606
Asam-Linoleat	22,321	Asam-Linoleat	22,321
<b>Aliran 5</b>		<b>Metil Ester</b>	
CH <sub>3</sub> OK	65,780	Metil-Laurat	16,267
Methanol	1647,390	Metil-Miristat	98,524
Water	39,746	Metil-Palmitat	3928,739
Q supply	10248,919	Metil-Stearat	374,411
		Metil-Oleat	2950,487
		Metil-Linoleat	779,910
		<b>Aliran 7</b>	
		CH <sub>3</sub> OK	65,780
		Methanol sisa	11,641
		H <sub>2</sub> O	39,746
		Gliserol	676,752
		Q loss	512,446
		H reaksi	10474,816
<b>TOTAL</b>	<b>21044,067</b>	<b>TOTAL</b>	<b>21044,067</b>



#### 4. Neraca Panas pada Pemanasan Air Pencucian



Entalpi bahan masuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot (T - T_{\text{ref}})$$

T masuk	28	T keluar	80
T ref	25	T ref	25
$\Delta T$	3	$\Delta T$	55

##### Perhitungan Entalpi Bahan Masuk (Aliran 8)

Komponen	Massa (kg)	Cp	T - T <sub>Ref</sub> (°C)	$\Delta H$ (kcal)
Water	432,953	0,9987	3	1297,169048
TOTAL	432,953			1297, 169048

##### Perhitungan Entalpi Bahan Keluar (Aliran 9)

Komponen	Massa (kg)	Cp	T - T <sub>Ref</sub> (°C)	$\Delta H$ (kcal)
Water	432,953	1,0029	55	23881,44459
TOTAL	432,953			23881, 44459

##### ➤ Q supply :

Daya heater = 600 Watt  
 1 watt = 0,000239 kcal/sekon  
 Q supply = 600 x 0,000239  
               = 0,143 kcal/sekon  
 Q loss = 0,143 x 0,05  
           = 0,00717 kcal/sekon  
 $\Delta H$  bahan masuk = 1297,169048 kcal

$\Delta H$  bahan keluar = 23881, 44459 kcal

➤ **Heat Balance pada proses pemanasan air :**

$$\Delta H_{in} + Q_{supply} = \Delta H_{out} + Q_{loss}$$

$$H_{masuk} + Q_{supply} = H_{keluar} + Q_{loss}$$

$$1297,169048 + 0,143 = 23881, 44459 + 0,00717$$

$$Q_{supply} - Q_{loss} = H_{keluar} - H_{masuk}$$

$$0,143 - 0,007 = 23881, 44459 - 1297,169048$$

$$0,136 \text{ kcal/sekon} = 22584,276 \text{ kcal}$$

$$t = 165780,485 \text{ sekon}$$

$$Q_{supply} = 0,143 \times 165780,485$$

$$= 23772,922 \text{ kcal}$$

$$Q_{loss} = 23772,922 \times 0,05$$

$$= 1188,646 \text{ kcal}$$

**Neraca Panas pada Pemanasan Air Pencucian**

<b>Komponen Masuk</b>	<b><math>\Delta H</math> (Kcal)</b>	<b>Komponen keluar</b>	<b><math>\Delta H</math> (Kcal)</b>
Water	1297,169	Water	23881,445
Q supply	23772,922	Q loss	1188,646
TOTAL	25070,091		25070,091

## APPENDIKS C PERHITUNGAN

1. Menghitung FFA minyak jelantah

Volume NaOH = 0,3 ml

N NaOH = 1 N

BM Minyak Jelantah = 842 g/mol

$$\% \text{ Kandungan FFA} = \frac{\text{ml}_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times \text{BM Minyak Goreng}}{\text{gram sampel} \times 1000} \times 100\%$$

$$= \frac{0,3 \text{ ml} \times 1 \text{ N} \times 842 \text{ g/mol}}{10 \text{ gram} \times 1000} \times 100\%$$

$$= 2,526 \%$$

2. Menghitung Densitas Biodiesel pada Suhu 40°C

Massa Picnometer kosong = 10,2 gr

Massa Picnometer+isi = 18,7 gr

Volume Picnometer = 10 ml

$$\rho \text{ Metil Ester} = \frac{(\text{Massa Picnometer} + \text{isi}) - \text{Massa Picnometer Kosong}}{\text{Volume picnometer}}$$

$$= \frac{18,7 - 10,2}{10}$$

$$= 8,5 \text{ gr/ml}$$

3. Menghitung Viskositas kinematik biodiesel pada suhu 40°C

Data viskositas dan densitas air dapat dilihat pada Geankoplis Appendix A.2-4 Transport Processes And Unit Operation:

$T_{\text{air}} = 40^\circ\text{C}$  ;  $\mu_{\text{air}} = 0,656 \text{ mPa.s}$  ;  $\rho_{\text{air}} = 992,25 \text{ kg/m}^3$  ;  $t_{\text{air}} = 4 \text{ s}$  ;  $t_{\text{minyak}} = 36 \text{ s}$

### *Appendiks C*

Kemudian disubstitusi dalam rumus viskositas dinamik:

$$\begin{aligned}\eta &= \rho \times 10^{-3} \times \nu \\ 0,656 &= 992,25 \times 10^{-3} \times \nu \\ \nu &= 0,6611237 \text{ mm}^2/\text{s}\end{aligned}$$

Mencari nilai  $c$  dengan mensubstitusikan nilai  $\nu$  pada rumus viskositas kinematik:

$$\begin{aligned}\nu &= c \times t \\ 0,6611237 &= c \times 4 \\ c &= 0,165281 \text{ mm}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

Mencari nilai viskositas kinematik biodiesel:

$$\begin{aligned}\nu &= c \times t \\ &= 0,165281 \times 36 \\ &= 5,95 \text{ mm}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

4. Menghitung angka asam biodiesel

$$\text{ml KOH} = 0,02 \text{ ml}$$

$$\text{N KOH} = 1 \text{ N}$$

$$\text{Gram Minyak Jelntah} = 10 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned}\text{Angka asam} &= \frac{\text{ml}_{\text{KOH}} \times \text{N}_{\text{KOH}} \times 56,1}{\text{Gram Minyak}} \\ &= \frac{0,02 \times 1 \times 56,1}{10} \\ &= 0,1122 \text{ mg KOH/g}\end{aligned}$$

5. Menghitung yield biodiesel yang dihasilkan

$$\begin{aligned}\text{Yield} &= \frac{\text{Massa biodiesel yang dihasilkan}}{\text{Massa minyak jelantah yang digunakan}} \times 100\% \\ &= \frac{309}{355,5} \times 100\% \\ &= 86,9198 \%\end{aligned}$$

## **BIODATA PENULIS**

### **PENULIS I**



Penulis bernama Erni Dwi Cahyati dilahirkan di Tulungagung, tanggal 27 September 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 1 Sumberdadi, SMPN 1 Sumbergempol, SMAN 1 Ngunut. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2014, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Kimia Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) dan terdaftar dengan NRP 2314 030 020.

Selama kuliah di Departemen Teknik Kimia Industri ITS penulis pernah melakukan kerja praktek di Pabrik Gula Ngadiredjo Kediri.

Email: [ernidwic@gmail.com](mailto:ernidwic@gmail.com)

## PENULIS II



Penulis bernama Lestari Pujaningtyas dilahirkan di Probolinggo, tanggal 8 November 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Taruna Dra. Zulaeha, SMP Taruna Dra. Zulaeha, dan SMA Taruna Dra. Zulaeha. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2014, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Kimia Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) dan terdaftar

dengan NRP 2314 030 053.

Selama kuliah di Departemen Teknik Kimia Industri ITS penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik.

Email: [lestaripuja@gmail.com](mailto:lestaripuja@gmail.com)